

ADRIANA SOUZA DOS SANTOS

**RESPIRAÇÃO E BIOMASSA MICROBIANA EM ÁREA DE CULTIVO COMERCIAL
DE PUPUNHA (*Bactris gasipaes*, KUNTH) E PALMEIRA-REAL
(*Archontophoenix alexandrae*, MUELLER), NO
LITORAL PARANAENSE – BRASIL**

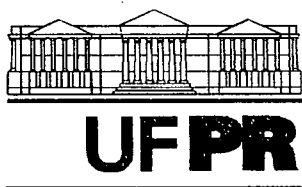
Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Jair Alves Dionísio

Co-orientador: Prof. Dr. Klaus Dieter Sautter

CURITIBA

2003



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA: CIÊNCIA DO SOLO(MESTRADO)
Rua dos Funcionários, 1540-Curitiba/PR-80035-050-Fone/Fax 41-350-5648
E-mail: pgcisol@agrarias.ufpr.br

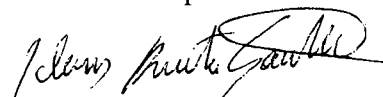
P A R E C E R

Os Membros da Comissão Examinadora, designados pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo" para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pela candidata **ADRIANA SOUZA DOS SANTOS**, sob o título "**Respiração e biomassa microbiana determinadas em área de cultivo comercial de pupunha e palmeira real no litoral paranaense-Brasil**", requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo" do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haverem analisado o referido trabalho e arguido o candidato, são de Parecer pela "**APROVAÇÃO**" da Dissertação, com o conceito "**A**", completando assim, os requisitos necessários para receber o diploma de **Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo"**.

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", em Curitiba aos 18 de setembro de 2003.


Prof. Dr. Jair Alves Dionísio, Presidente.


Profª. Drª. Ida Chapaval Pimentel, Iª Examinadora.


Prof. Dr. Klaus Dieter Sautter, IIº Examinador.



*A Deus,
pelo dom da vida.*

*Aos meus pais, Carlos e Arlete, exemplos de
vida e dedicação,
A Mauricio Simões, meu amor.*

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do Solo, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, pela oportunidade.

Ao Professor Dr. Masato Kobiyama que, devido ao processo de transferência para a Universidade Federal de Santa Catarina, teve que abrir mão da sua orientação após dois anos de trabalho.

Ao Professor Dr. Jair Alves Dionísio por ter aceitado a orientação mesmo há poucos meses do término do curso. Obrigada pela confiança, contribuição e pelo apoio dado ao trabalho.

Ao Professor Dr. Klaus Dieter Sautter, por ter acreditado no trabalho, pela confiança e pela valiosa contribuição.

Ao Professor Dr. Deodato de Paula Souza, por ter viabilizado a pesquisa cedendo a área de estudo para coletas. Agradeço pela confiança.

Ao Prof. Dr. Luiz Cláudio de Paula Souza pelas fotos da área de estudo.

Às laboratoristas Elda Nazaré Leite Lubansinski e Ana Kudla, do Laboratório de Biologia do Solo, do Departamento de Solos, pelo apoio e pela colaboração.

À CAPES – Coordenação para o Aperfeiçoamento do Pessoal do Ensino Superior - pela concessão da Bolsa de Estudos, e à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Ciência do Solo, da Universidade Federal do Paraná, pela intermediação na concessão da bolsa.

Ao amigo Jocelito Castro pela ajuda na análise e interpretação dos dados estatísticos.

Aos amigos do Curso de Pós-Graduação em Agronomia/Ciência do Solo pelo apoio e pela amizade.

À amiga Leda Neiva Dias, por ter incentivado a minha entrada no Mestrado e pela grande amizade, que muito valeu como apoio para todos os momentos.

Aos meus pais, Carlos Soares dos Santos e Arlete Souza dos Santos, pelo amor, exemplo, confiança, apoio e pela paciência. Agradeço por nunca terem medido esforços para que eu chegasse até aqui. Também agradeço ao meu pai pela ajuda nas fases de campo.

Ao meu tio Ari Eduardo de Souza, pelo apoio e por ter me acompanhado e me ajudado nas fases de campo.

Ao meu namorado Mauricio Simões, que me acompanha desde o início do curso, pelo apoio, pela paciência, por compreender as muitas horas da minha ausência. Obrigada pelo seu amor.

Enfim, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE GRÁFICOS	viii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	x
RESUMO	xi
ABSTRACT	xii
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 MICRORGANISMOS DO SOLO.....	3
2.1.1 Bactérias.....	3
2.1.2 Fungos.....	5
2.1.3 Algas.....	6
2.1.4 Protozários.....	7
2.2 RESPIRAÇÃO MICROBIANA DO SOLO.....	8
2.2.1 Respiração microbiana em ecossistemas florestais.....	8
2.3 BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO.....	9
2.3.1 Métodos para a determinação da biomassa microbiana.....	11
2.4 INFLUÊNCIA DE FATORES BIÓTICOS E ABIÓTICOS SOBRE A RESPIRAÇÃO E A BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO.....	14
2.4.1 Biológicos.....	14
2.4.2 Químicos.....	17
2.4.3 Físicos.....	20
2.5 CULTURAS COMERCIAIS DE PUPUNHA E PALMEIRA-REAL.....	21
2.5.1 Pupunha.....	22
2.5.2 Palmeira-real.....	22
3 MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1 DESCRIÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO.....	23
3.2 DETALHAMENTO DO EXPERIMENTO E DESCRIÇÃO DOS TRATAMENTOS.....	24
3.3 HISTÓRICO DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	28
3.4 AMOSTRAGENS.....	28
3.4.1 Biológicas.....	28

3.4.2 Químicas.....	31
3.4.3 Físicas.....	31
3.5 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	33
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
4.1 PARÂMETROS FÍSICOS.....	34
4.1.1 Análise granulométrica.....	34
4.1.2 Umidade gravimétrica.....	34
4.1.3 Flutuação da temperatura do ar e da precipitação pluvial.....	35
4.2 PARÂMETROS DE FERTILIDADE DO SOLO.....	37
4.3 RESPIRAÇÃO MICROBIANA DO SOLO.....	39
4.3.1 Influência dos parâmetros físico-químicos na respiração microbiana do solo.....	45
4.4 BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO.....	47
4.4.1 Influência dos parâmetros físico-químicos na biomassa microbiana do solo.....	52
4.5 ANÁLISE DA RESPIRAÇÃO E DA BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO.....	52
4.5.1 Carbono orgânico na biomassa.....	54
4.5.2 Quociente metabólico.....	54
4.5.3 Flutuação da respiração e da biomassa microbiana do solo.....	54
5 CONCLUSÕES.....	60
REFERÊNCIAS.....	61

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 –	ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO SOLO REALIZADA EM NOV./02, NA CAMADA DE 0 A 5 cm DE PROFUNDIDADE.....	34
TABELA 2 –	UMIDADE GRAVIMÉTRICA (MÉDIA), AVALIADA ENTRE OS MESES DE NOV./02 A ABR./03, NA CAMADA DE 0 A 5 cm DE PROFUNDIDADE.....	35
TABELA 3 –	ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO PARA FINS DE FERTILIDADE, AVALIADA EM 5 TRATAMENTOS NA CAMADA DE 0 A 5 cm. MÉDIAS ENTRE OS MESES DE NOV./02 E ABR./03.....	38
TABELA 4 –	COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO ENTRE RESPIRAÇÃO, BIOMASSA, UMIDADE GRAVIMÉTRICA E PARÂMETROS DE FERTILIDADE DO SOLO, NOS TRATAMENTOS: PFIC (PUPUNHA FASE INICIAL); PFIT (PUPUNHA FASE INTERMEDIÁRIA); PFAD (PUPUNHA FASE ADULTA); PR (PALMEIRA-REAL) E AB (ÁREA DE BOSQUE).....	46
TABELA 5 –	RESPIRAÇÃO, BIOMASSA, CARBONO ORGÂNICO NA BIOMASSA, CARBONO MICROBIANO E QUOCIENTE METABÓLICO, DETERMINADOS NOS TRATAMENTOS: PFIC (PUPUNHA FASE INICIAL); PFIT (PUPUNHA FASE INTERMEDIÁRIA); PFAD (PUPUNHA FASE ADULTA); PR (PALMEIRA-REAL) E AB (ÁREA DE BOSQUE).....	53

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 –	TEMPERATURA DO AR (°C) MENSAL (MÁX., MÉD. E MÍN.), REGISTRADA NA ESTAÇÃO DO IAPAR EM MORRETES – PR, ENTRE SET./02 E ABR./03.....	36
GRÁFICO 2 –	PRECIPITAÇÃO TOTAL (mm/MÊS) REGISTRADA NA ESTAÇÃO DO IAPAR EM MORRETES – PR, ENTRE SET./02 E ABR./03	36
GRÁFICO 3 –	RESPIRAÇÃO MICROBIANA DO SOLO NA CAMADA DE 0 A 5 cm, NO PERÍODO DE NOV./02 A ABR./03, NOS TRATAMENTOS: PFIC (PUPUNHA FASE INICIAL); PFIT (PUPUNHA FASE INTERMEDIÁRIA); PFAD (PUPUNHA FASE ADULTA); PR (PALMEIRA-REAL) E AB (ÁREA DE BOSQUE).....	40
GRÁFICO 4 –	RESPIRAÇÃO MICROBIANA DO SOLO NOS TRATAMENTOS: PFIC (PUPUNHA FASE INICIAL); PFIT (PUPUNHA FASE INTERMEDIÁRIA); PFAD (PUPUNHA FASE ADULTA); PR (PALMEIRA-REAL) E AB (ÁREA DE BOSQUE), NA CAMADA DE 0 A 5 cm DE PROFUNDIDADE. MÉDIAS ENTRE AS ÉPOCAS DE NOV./02 E ABR./03.....	41
GRÁFICO 5 –	ANÁLISE DA FLUTUAÇÃO DA RESPIRAÇÃO MICROBIANA DO SOLO, EM CINCO TRATAMENTOS, DURANTE AS ÉPOCAS: NOV./02 (22/11/02), DEZ./02 (19/12/02), JAN./03 (30/01/03), FEV./03 (26/02/03), MAR./03 (27/03/03) E ABR./03 (28/04/03).....	43
GRÁFICO 6 –	RESPIRAÇÃO MICROBIANA DO SOLO EM SEIS ÉPOCAS DE AMOSTRAGEM, NA CAMADA DE 0 A 5 cm. MÉDIAS ENTRE OS TRATAMENTOS: PFIC (PUPUNHA FASE INICIAL); PFIT (PUPUNHA FASE INTERMEDIÁRIA); PFAD (PUPUNHA FASE ADULTA); PR (PALMEIRA-REAL) E AB (ÁREA DE BOSQUE)	44
GRÁFICO 7 –	BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO NA CAMADA DE 0 A 5 cm, NO PERÍODO DE NOV./02 A ABR./03, NOS TRATAMENTOS: PFIC (PUPUNHA FASE INICIAL); PFIT (PUPUNHA FASE INTERMEDIÁRIA); PFAD (PUPUNHA FASE ADULTA); PR (PALMEIRA-REAL) E AB (ÁREA DE BOSQUE).....	48

GRÁFICO 8 –	BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO NOS TRATAMENTOS: PFIC (PUPUNHA FASE INICIAL); PFIT (PUPUNHA FASE INTERMEDIÁRIA); PFAD (PUPUNHA FASE ADULTA); PR (PALMEIRA-REAL) E AB (ÁREA DE BOSQUE), NA CAMADA DE 0 A 5 cm DE PROFUNDIDADE. MÉDIAS ENTRE AS ÉPOCAS DE NOV./02 E ABR./03.....	49
GRÁFICO 9 –	ANÁLISE DA FLUTUAÇÃO DA BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO, EM CINCO TRATAMENTOS, DURANTE AS ÉPOCAS: NOV./02 (22/11/02), DEZ./02 (19/12/02), JAN./03 (30/01/03), FEV./03 (26/02/03), MAR./03 (27/03/03) E ABR./03 (28/04/03).....	50
GRÁFICO 10 –	BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO EM SEIS ÉPOCAS DE AMOSTRAGEM, NA CAMADA DE 0 A 5 cm. MÉDIAS ENTRE OS TRATAMENTOS: PFIC (PUPUNHA FASE INICIAL); PFIT (PUPUNHA FASE INTERMEDIÁRIA); PFAD (PUPUNHA FASE ADULTA); PR (PALMEIRA-REAL) E AB (ÁREA DE BOSQUE)	51
GRÁFICO 11 –	FLUTUAÇÃO DA RESPIRAÇÃO E DA BIOMASSA MICROBIANA, NA CAMADA DE 0 A 5 cm, ENTRE OS MESES DE NOV./02 E ABR./03, NO TRATAMENTO PFIC (PUPUNHA FASE INICIAL)	55
GRÁFICO 12 –	FLUTUAÇÃO DA RESPIRAÇÃO E DA BIOMASSA MICROBIANA, NA CAMADA DE 0 A 5 cm, ENTRE OS MESES DE NOV./02 E ABR./03, NO TRATAMENTO PFIT (PUPUNHA FASE INTERMEDIÁRIA)	56
GRÁFICO 13 –	FLUTUAÇÃO DA RESPIRAÇÃO E DA BIOMASSA MICROBIANA, NA CAMADA DE 0 A 5 cm, ENTRE OS MESES DE NOV./02 E ABR./03, NO TRATAMENTO PFAD (PUPUNHA FASE ADULTA).....	57
GRÁFICO 14 –	FLUTUAÇÃO DA RESPIRAÇÃO E DA BIOMASSA MICROBIANA, NA CAMADA DE 0 A 5 cm, ENTRE OS MESES DE NOV./02 E ABR./03, NO TRATAMENTO PR (PALMEIRA-REAL).....	58
GRÁFICO 15 –	FLUTUAÇÃO DA RESPIRAÇÃO E DA BIOMASSA MICROBIANA, NA CAMADA DE 0 A 5 cm, ENTRE OS MESES DE NOV./02 E ABR./03, NO TRATAMENTO AB (ÁREA DE BOSQUE)	59

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

MAPA 1 –	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	23
QUADRO 1 –	DESCRIÇÃO DOS TRATAMENTOS UTILIZADOS NA ANÁLISE DA RESPIRAÇÃO E DA BIOMASSA MICROBIANA.....	25
FIGURA 1 –	TRATAMENTO 1 (PUPUNHA FASE INICIAL - PFIC).....	26
FIGURA 2 –	TRATAMENTO 2 (PUPUNHA FASE INTERMEDIÁRIA - PFIT).....	26
FIGURA 3 –	TRATAMENTO 3 (PUPUNHA FASE ADULTA - PFAD).....	27
FIGURA 4 –	TRATAMENTO 4 (PALMEIRA-REAL - PR).....	27

RESUMO

O presente trabalho foi desenvolvido durante seis meses, entre Nov./02 e Abr./03, nas seguintes datas: 22/11/02, 19/12/02, 30/01/03, 26/02/03, 27/03/03 e 28/04/03, no Sítio do Vovô Miguel, localizado no município de Paranaguá – PR. O objetivo foi avaliar a respiração e a biomassa microbiana do solo em área de pupunha (*Bactris gasipaes*), palmeira-real (*Archontophoenix alexandrae*) e área de bosque. Foram utilizados cinco tratamentos: PFIC (pupunha fase inicial), PFIT (pupunha fase intermediária), PFAD (pupunha fase adulta), PR (palmeira-real) e AB (área de bosque). O solo foi coletado na camada de 0 a 5 cm de profundidade. Em cada tratamento foram coletadas 5 amostras compostas (5 repetições). No laboratório de Biologia do Solo da UFPR, as amostras foram separadas para análises biológicas (respiração e biomassa), físicas (granulometria, umidade e capacidade de campo) e químicas (fertilidade do solo). A respiração do solo foi avaliada pela produção de CO₂ em 10 dias de incubação e a biomassa microbiana pelo método respiração por indução do substrato (*substrate induced respiration* - SIR). Os resultados obtidos mostraram que a produção de CO₂ microbiano apresentou o seguinte comportamento: tratamentos PFAD = PFIT > PFIC > AB > PR. As épocas que mais influenciaram a respiração foram Mar./03 e Abr./03. A respiração microbiana apresentou baixa correlação com os parâmetros de fertilidade do solo (pH, C, Ca⁺², V% entre outros). Os resultados da biomassa mostraram que o tratamento PFAD > PFIC = PFIT > AB > PR. As épocas que mais influenciaram a biomassa foram Fev./03 e Mar./03. Comparada à respiração, a biomassa apresentou maior correlação com os parâmetros de fertilidade do solo. A correlação entre respiração e biomassa foi significativa nos tratamentos PFIT (r=0,486) e AB (r=0,737). O menor quociente metabólico foi do tratamento AB (0,41), e o tratamento PFAD foi o que apresentou maior quociente metabólico (0,70).

ABSTRACT

The present work was developed for six months, between November/02 and April/03, in the following dates: 11/22/02, 12/19/02, 01/30/03, 02/26/03, 03/27/03 and 04/28/03, in "Vovô Miguel's" Ranch, located in the municipal district of Paranaguá - PR. The objective was to evaluate the respiration and the microbial biomass of the soil in the pupunha area (*Bactris gasipaes*), real palm tree (*Archontophoenix alexandrae*) and forest area. Five treatments were used: PFIC (pupunha initial phase), PFIT (pupunha intermediary phase), PFAD (pupunha adult phase), PR (real palm tree) and AB (forest area). The soil was collected in the layer of 0 to 5 cm of depth. In each treatment 5 composed samples were collected (5 repetitions). In the laboratory of Biology of the Soil of UFPR, the samples were separate for biological analyses (respiration and biomass), physics (granulometry, humidity and field capacity) and chemical (fertility of the soil). The respiration of the soil was evaluated by the production of CO₂ in 10 days of incubation and the microbial biomass by the method by substrate induced respiration (SIR). The obtained results showed that the microbial production of CO₂ presented the following behavior: treatments PFAD=PFIT>PFIC>AB>PR. The times that influenced respiration the most were March/03 and April/03. The microbial respiration presented low correlation with the parameters of fertility of the soil (pH, C, Ca⁺², V% among other). The results of the biomass showed that the treatment PFAD>PFIC=PFIT>AB>PR. The times that most influenced the biomass they were February/03 and March/03. Compared to the respiration, the biomass presented larger correlation with the parameters of fertility of the soil. The correlation between respiration and biomass was significant in the treatments PFIT (r=0,486) and AB (r=0,737). The smallest metabolic quotient was of the treatment AB (0,41), and the treatment PFAD was which presented the larger metabolic quotient (0,70).

1 INTRODUÇÃO

Atualmente há um grande interesse em se conhecer o funcionamento dos ecossistemas florestais, sobretudo no que se refere à sua produtividade. Do ponto de vista ecológico, não só a produtividade é importante, mas também a manutenção do equilíbrio a longo prazo, que depende, em grande parte, da ciclagem dos nutrientes. Esta, por sua vez, depende da adição e decomposição dos restos vegetais e animais, e da atuação dos organismos presentes no solo. Este processo acontece tanto nos ecossistemas naturais como nos artificiais, sendo fortemente influenciado pela complexidade das formas de vida que compõem a cadeia alimentar (LIRA; POGGIANI; GONÇALVES, 1999).

O ecossistema do solo é o produto de interações complexas entre a matriz física e química de composições altamente variáveis e é composto essencialmente de todas as formas de vida (TATE, 1995).

A Microbiologia do Solo evoluiu muito como ciência. No século XX, milhares de organismos que realizam processos benéficos ou maléficos foram descobertos, sendo que muitos estão sendo usados para o bem-estar da humanidade. No entanto, esses avanços possibilitaram também vislumbrar o quanto se ignora ainda sobre estes pequenos seres, suas atividades e relações com o ambiente, especialmente o solo, que é considerado o mais complexo, heterogêneo e dinâmico dos *habitats* microbianos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002). Segundo TATE (1995), a ecologia microbiana do solo tem que envolver uma avaliação do comportamento dos organismos nos *habitats* naturais.

As principais atividades dos microrganismos do solo são: decomposição da matéria orgânica, produção de húmus, ciclagem de nutrientes e energia, fixação de nitrogênio atmosférico, produção de compostos complexos que causam agregação do solo, decomposição de xenobióticos e controle biológico de pragas e doenças (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002). No solo, os organismos que não estão se reproduzindo ou que formaram estruturas de resistência, devido às condições adversas, precisam continuar consumindo energia para manter sua estrutura celular. Assim, estes microrganismos oxidam fontes de energia alterando o micro-*habitat* em que vivem. O resultado esperado é a produção de gás carbônico gerado pela respiração associada com a manutenção celular (TATE, 1995).

A respiração é um dos mais antigos parâmetros para quantificar a atividade microbiana. Ela representa a oxidação da matéria orgânica por organismos aeróbios do solo que utilizam O_2 como aceptor final de elétrons, até CO_2 . Assim, ela pode ser avaliada tanto pelo consumo de O_2 como pela produção de CO_2 (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

Biomassa microbiana do solo é definida como componente microbiano vivo do solo e é composta de bactérias, fungos, microfauna (protozoários) e algas (JENKINSON, 1966). É um componente crítico de todos os ecossistemas naturais ou manipulados pelo homem, sendo o agente regulador da taxa de decomposição da matéria orgânica e da ciclagem dos elementos (JENKINSON; LADD, 1981), atuando como fonte e dreno dos nutrientes necessários ao crescimento das plantas (LADD; AMATO; OADES, 1985).

Os cultivos comerciais de palmito da pupunha (*Bactris gasipaes*) e da palmeira-real (*Archontophoenix alexandrae*), vêm crescendo no país principalmente na região Centro-Sul, devido ao esgotamento das reservas naturais do palmito juçara (*Euterpe edulis*). Inicialmente, foi introduzida nesta região a pupunha, que teve sua maior expansão a partir de meados da década de 90 (BOVI; GODOY JÚNIOR; SAES, 1987). Mais recentemente, a palmeira-real-australiana começou a ser cultivada para produção de palmito, principalmente na região litorânea de Santa Catarina.

Este estudo teve como objetivo geral avaliar a respiração e a biomassa microbiana do solo em área de cultivo comercial de pupunha e palmeira-real, comparadas a atividade microbiana em área de bosque, no litoral paranaense. Os objetivos específicos foram:

- a) Quantificar a respiração e a biomassa microbiana do solo, na camada de 0 a 5 cm de profundidade;
- b) Verificar a influência de cada tratamento e época do ano sobre a respiração e a biomassa microbiana do solo;
- c) Avaliar possíveis correlações entre a fertilidade do solo, respiração e biomassa microbiana.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 MICRORGANISMOS DO SOLO

O solo, argiloso ou arenoso, é a casa de uma comunidade microbiana complexa formada por bactérias, fungos, algas, protozoárias e vírus. Essa associação complicada de células microbianas é particularmente crítica para a sobrevivência do ecossistema do solo (TATE, 1995).

2.1.1 Bactérias

As bactérias são seres procarióticos, geralmente unicelulares, caracterizados pelo tamanho reduzido ($0,5 - 2,0 \times 1,0 - 8,0 \mu\text{m}$) e que se multiplicam por fissão binária formando colônias (BRANDÃO, 1992). Elas carecem de membrana nuclear e outras estruturas intracelulares organizadas observadas em eucariotos (PELCZAR JÚNIOR; CHAN; KRIEG, 1996). De todos os organismos, as bactérias são os de estrutura mais simples, os menores fisicamente e os mais abundantes em termos de número de indivíduos (RAVEN; EVERT; EICHHORN, 1996).

Segundo MOREIRA e SIQUEIRA (2002), as bactérias são divididas em dois grupos maiores: as eubactérias e as arqueobactérias. Os dois grupos são semelhantes quando observados por meio de um microscópio, mas existem diferenças importantes quanto a sua composição química, à atividade e ao ambiente no qual elas se desenvolvem (PELCZAR JÚNIOR; CHAN; KRIEG, 1996).

A composição da parede celular das arqueobactérias (Archae) é única e, provavelmente, está relacionada à capacidade destas de habitar ambientes em condições extremas de temperatura, salinidade e pressão. O grupo das eubactérias (Bacteria) apresenta parede celular composta principalmente por peptidoglicano, cuja função é conferir força e rigidez à célula. De acordo com a espessura da camada de peptidoglicano, as eubactérias são divididas em dois grupos: bactérias Gram-positivas e Gram-negativas. Os actinomicetos (procariotos com características de fungos – eucariotos), e as cianobactérias (cianofícias ou algas verde-azuladas), são exemplos de eubactérias (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

O estudo da estrutura das bactérias mostra que elas apresentam, envolvendo o seu citoplasma, uma membrana plasmática em torno da qual se encontra uma camada espessa e rígida: a parede bacteriana. Por fora da parede pode ocorrer uma terceira camada, viscosa que, em algumas espécies, se espessa e se organiza, formando a cápsula. No interior, além do citoplasma, encontra-se uma região correspondente ao núcleo, chamada nucleóide, e grânulos diversos. Frequentemente partem da superfície bacteriana, prolongamentos filamentosos: são os flagelos e as fímbrias (JUNQUEIRA; CARNEIRO, 1991).

De acordo com as exigências de oxigênio, as bactérias podem ser agrupadas em quatro divisões: a) aeróbias - necessitam de oxigênio; b) microaerófilas - exigem pequenas quantidades de oxigênio livre; c) anaeróbias propriamente ditas - crescem na ausência do oxigênio e d) anaeróbias facultativas - crescem tanto na presença quanto na ausência de oxigênio livre (SIQUEIRA et al., 1994).

As bactérias do solo formam o grupo de microrganismos que apresenta maior abundância e diversidade entre as espécies. A comunidade bacteriana é estimada em cerca de 10^8 a 10^9 organismos por grama de solo, variando de acordo com o método de contagem utilizado e com o tipo e manejo do solo (CARDOSO; TSAI; NEVES, 1992).

O grupo das bactérias apresenta uma elevada taxa de crescimento e alta capacidade de decomposição dos diferentes substratos contidos no solo, exercendo um importante papel na decomposição da matéria orgânica e na ciclagem dos elementos (CARDOSO; TSAI; NEVES, 1992).

O nicho ecológico é o fator de maior interesse no estudo das populações microbianas do solo. Em função disso, as bactérias são classificadas em: amonificadoras, nitrificadoras, nitrato-redutoras ou desnitrificantes, sulfo-redutoras, diazotróficas, celulolíticas e amilolíticas (CARDOSO; TSAI; NEVES, 1992).

Os gêneros de maior ocorrência no solo são: *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Arthrobacter*, *Archromobacter*, *Flavobacterium*, *Xanthomonas* e *Micrococcus*. Outros gêneros pouco representativos, mas de grande importância ecológica são: *Nitrosomonas*, *Nitrobacter*, *Ferrobacillus*, *Thiobacillus*, *Hidrogenomonas*, *Dessulfovibrio*, *Methanobacillus* e *Carboxidomonas*. Além dessas, são de grande interesse agrícola *Rhizobium* e *Bradyrhizobium*, que são bactérias fixadoras de N_2 com leguminosas e não-leguminosas; *Parosponia*; *Azospirillum* que fixam N_2 com

gramíneas; e *Beijerinckia*, *Azotomonas*, *Derxia* e outros gêneros que são fixadores de vida livre no solo (BRANDÃO, 1992).

De acordo com ALEXANDER (1980), o pH ótimo de crescimento das bactérias varia de 6,5 a 7,5, porém algumas espécies crescem em limites extremos que variam de 0,5 a 9,5.

2.1.2 Fungos

Os fungos são organismos eucariotos com parede celular rígida, podendo ser uni ou multicelulares e também micro ou macroscópicos. (PELCZAR JÚNIOR; CHAN; KRIEG, 1996). Eles não sintetizam clorofila, não tem celulose na sua parede celular (exceto alguns fungos aquáticos) e não armazenam amido como substância de reserva (TRABULSI, 1998). Como não ingerem alimentos, realizam a absorção dos nutrientes dissolvidos no ambiente. Fungos multicelulares produzem estruturas filamentosas e são freqüentemente chamados de bolores, enquanto as leveduras são fungos unicelulares (PELCZAR JÚNIOR; CHAN; KRIEG, 1996).

Todos os fungos são heterotróficos. Para obtenção de seu alimento eles agem como saprófitas (vivendo sobre matéria orgânica proveniente de organismos mortos), como parasitas ou como simbioses mutualistas. Alguns fungos, principalmente as leveduras, podem liberar energia pela fermentação, tal como acontece na produção de álcool etílico a partir da glicose (RAVEN; EVERT; EICHHORN, 1996).

Segundo CARDOSO; TSAI e NEVES (1992), grande parte dos fungos produz esporos, tanto de forma assexuada, como de forma sexuada.

Os fungos não são móveis e não produzem células com cílios ou flagelos durante seus ciclos de vida. Muitos esporos são dispersos pelo vento ou pela água, enquanto outros são transportados por insetos ou outros artrópodos (RAVEN; EVERT; EICHHORN, 1996).

Segundo ALEXANDER (1977), os fungos são encontrados no solo com comunidades variando de 10^4 a 10^6 organismos por grama de solo. Mesmo tendo densidade populacional inferior à das bactérias no solo, os fungos podem contribuir com 0,5 até 5,0 t.ha⁻¹ de tecido vivo no solo, devido ao comprimento das hifas (10 – 100 m.g⁻¹ de solo) com elevado diâmetro (5 a 10 µm) (BRANDÃO, 1992).

Fungos são predominantes em solos ácidos, onde sofrem menor competição, pois as bactérias são favorecidas por valores de pH na região alcalina e neutra. Eles podem ser encontrados em solos com pH de 3,0 a 9,0, porém o valor ótimo é variável com a espécie. A umidade ideal para o desenvolvimento desses organismos está localizada entre 60 a 70% da capacidade de retenção de água do solo (CARDOSO; TSAI; NEVES, 1992).

2.1.3 Algas

As algas são consideradas semelhantes às plantas porque contêm o pigmento verde clorofila que participa do processo de fotossíntese e apresentam uma parede celular rígida. Estes eucariotos podem ser unicelulares e microscópicos em tamanho, ou multicelulares até vários metros de comprimento (PELCZAR JÚNIOR; CHAN; KRIEG, 1996).

A maioria das algas utiliza a radiação solar como fonte de energia produzindo seus compostos orgânicos a partir de precursores inorgânicos (fotolitotróficas). Algumas algas, no entanto, podem ser denominadas fotolitotróficas facultativas, ou seja, possuem a capacidade de utilizar açúcares ou ácidos orgânicos na ausência de luz, comportando-se como organismos quimiorganotróficos (CARDOSO; TSAI; NEVES, 1992).

As algas podem ocorrer em todo o tipo de solo, onde a concentração maior de indivíduos se dá na superfície (0 a 5 cm), podendo também ser encontradas nos horizontes mais profundos (LUND, 1971). Quando ocorrem abaixo da superfície geralmente são formas dormentes (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002). Normalmente estão na faixa de 10^3 a 10^4 organismos por grama de solo (CARDOSO; TSAI; NEVES, 1992).

As algas contribuem para a formação e para a integridade dos solos. São os primeiros organismos colonizadores dos substratos expostos recentemente à biosfera, incluindo solos formados por erupções vulcânicas e áreas de mineração, onde a maioria dos microrganismos não consegue se desenvolver. As algas promovem a intemperização de minerais silicatados, através de uma maior retenção de água e produção de ácido carbônico (CARDOSO; TSAI; NEVES, 1992).

O pH do solo influencia a comunidade de algas, mais que qualquer outro fator químico. Sendo o pH ótimo, nem muito ácido nem muito básico (5,5 a 8,5) (LUND, 1971).

2.1.4 Protozoários

Os protozoários são microrganismos eucarióticos e unicelulares. Como os animais, eles ingerem partículas alimentares, não apresentam parede celular rígida e não contêm clorofila. Alguns se movem na água com o auxílio de apêndices curtos e finos, chamados cílios, ou apêndices em chicote, longos, denominados flagelos (PELCZAR JÚNIOR; CHAN; KRIEG, 1996). Muitas espécies são predadoras de bactérias e, em menor proporção, de leveduras, algas, esporos de fungos e micélios (STOUT; HEAL, 1971). Podem ser de vida livre, a maioria é sésil, sendo que algumas espécies de ambas as categorias formam colônias. Sob certas condições adversas (umidade, pH, temperatura, alimento, etc.), alguns protozoários produzem uma cápsula protetora denominada cisto, permitindo ao organismo a sobrevivência (TORTORA; FUNKE; CASE, 2000).

Acredita-se que os protozoários representam um fator importante no controle do tamanho das populações bacterianas do solo. Existe, porém, uma certa preferência por bactérias gram-negativas, principalmente as que não possuem pigmentação própria. Bactérias dos gêneros *Enterobacter*, *Agrobacterium*, *Bacillus*, *Escherichia* e *Pseudomonas* são as mais predadas (CARDOSO; TSAI; NEVES, 1992).

Os protozoários têm distribuição limitada no perfil do solo (STOUT; HEAL, 1971). As populações podem variar entre 10^4 a 10^5 organismos por grama de solo (ALEXANDER, 1977) e podem ser encontrados em faixa de pH que variam de 3,5 a 9,0 (CARDOSO; TSAI; NEVES, 1992).

As populações de protozoários, tanto saprofíticos quanto predadores, são maiores na superfície do solo, pois nesta faixa encontram-se maiores teores de matéria orgânica, condição necessária para que ocorram maiores populações bacterianas. Teores elevados de umidade favorecem os protozoários flagelados e ciliados (CARDOSO; TSAI; NEVES, 1992).

2.2 RESPIRAÇÃO MICROBIANA DO SOLO

Segundo FIEDLER e GRUNDA (1997), a maioria dos organismos vivos utilizam oxigênio para as suas oxidações enzimáticas assim como para a construção das células e liberam, ao final deste processo, dióxido de carbono. A respiração é compreendida como um processo fornecedor de energia, aonde ligações orgânicas e/ou ligações inorgânicas reduzidas atuam como doadores de elétrons. Assim, entende-se como respiração microbiana a absorção de oxigênio e/ou liberação de dióxido de carbono pelas comunidades vivas e metabolizadoras de organismos do solo.

Existem alguns métodos para avaliação da liberação do CO₂ do solo. Entre eles está o método proposto por Stotzky e o método descrito por JENKINSON e POWLSON (1976). Ambos métodos medem a produção e a liberação do CO₂. JENSEN et al. (1996), comparou um método considerado por ele estático (armadilha) e outro dinâmico (câmara de gás infravermelho), na determinação do fluxo de CO₂ na superfície do solo.

2.2.1 Respiração microbiana em ecossistemas florestais

DIONÍSIO (1996) avaliou a influência das diferentes formas de adubação na densidade populacional dos microrganismos do solo, juntamente com a biomassa microbiana e a respiração microbiana em área de *Eucalyptus grandis*. Neste trabalho, após 12 meses de avaliação da respiração microbiana do solo, obteve resultados similares aos da flutuação da biomassa microbiana, determinada pelo método de fumigação-incubação.

LIRA; POGGIANI e GONÇALVES (1999) utilizaram o método de absorção de CO₂ sob campânula em condições de campo, para avaliar a liberação de CO₂ pelo solo em área cultivada com eucalipto. A avaliação feita entre os meses de Jun./97 a Fev./98 mostrou que a emissão de CO₂ foi maior no final da primavera e durante o verão.

PEÑA (2002) avaliou a produção de CO₂ microbiano em três horizontes (folhas, húmus e mineral) do solo florestal, em três fases da sucessão ecológica,

concluindo que a respiração microbiana é maior em horizontes com maior cobertura vegetal (folhas) e em avançado estágio de decomposição.

2.3 BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO

A manutenção da produtividade dos ecossistemas florestais depende, em grande parte, do processo de transformação da matéria orgânica e, conseqüentemente, da biomassa microbiana do solo. Esta representa importante indicador ecológico, pois é responsável pela decomposição e mineralização dos resíduos vegetais e animais do solo, sendo considerada como um reservatório de nutrientes e de energia potencialmente disponíveis para as plantas (JENKINSON; LADD, 1981).

A biomassa microbiana é definida como a parte da matéria orgânica do solo, excluindo-se as raízes e animais maiores do que 5 a 10 μm^3 . Operacionalmente, atua como agente de transformação da matéria orgânica, no ciclo dos nutrientes, e no fluxo de energia (JENKINSON; LADD, 1981; WARDLE, 1992). Constitui o primeiro estágio do carbono dos resíduos em decomposição no solo e representa 1 a 4% ou mais do carbono total do solo, podendo atingir toneladas por hectare (SIQUEIRA; FRANCO, 1988). Por constituir a maior parte da fração ativa da matéria orgânica, conseqüentemente, a biomassa é mais sensível que o C orgânico e N total em aferir mudanças nos níveis de matéria orgânica do solo causadas pelo manejo e práticas de cultivo (GAMA-RODRIGUES, 1999).

A importância da determinação da biomassa microbiana é evidente em estudos relacionados à matéria orgânica e ciclagem de nutrientes no solo (GRISI, 1984).

As diferenças na biomassa microbiana ao longo do perfil do solo refletem a distribuição dos resíduos vegetais e da matéria orgânica (VARGAS; SCHOLLES, 2000). Encontram-se maiores valores para a biomassa e população microbianas na camada de 0 a 5 cm, devido ao acúmulo de resíduos vegetais e de nutrientes verificados na camada superficial (CATTELAN; GALDÊNCIO; SILVA, 1997; VARGAS; SCHOLLES, 2000).

A biomassa microbiana usualmente decresce com o incremento da profundidade do solo e o tamanho da comunidade de fungos decresce mais

rapidamente que a comunidade de bactérias. A habilidade da comunidade das subcamadas para usar os substratos é diferente quando comparada com a população superficial (TURCO; BLUME, 1999).

A flutuação sazonal no desenvolvimento microbiano é maior nas camadas superiores do solo, onde existem as maiores oscilações na umidade e na temperatura (CATTELAN; VIDOR, 1990). Mas, os resíduos mantidos na superfície, além de constituir uma fonte de C orgânico e nutrientes, oferecem condições para que o solo sofra menores variações tanto de temperatura como de umidade (VARGAS; SCHOLLES, 2000).

CATTELAN e VIDOR (1990) observaram que, em sistemas com maior produção de biomassa vegetal e acúmulo de resíduos na superfície, o solo fica eficientemente protegido, ocorrendo uma diminuição das variações térmicas e hídricas.

A quantidade de biomassa encontrada no solo é, de certo modo e em determinado tempo, relacionada à quantidade de carbono que este recebe. Ela é favorecida em solos com vegetação, naqueles com teores elevados de argila ou sob cultivo mínimo, e geralmente baixa em solos cultivados, nos arenosos ou degradados pela erosão ou por contaminação com substâncias tóxicas ou metais pesados (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002). Para MARUMOTO; ANDERSON e DOMSCH (1982), quanto maior a biomassa microbiana do carbono, maior será a reserva de C no solo, expressando menor potencial de decomposição da matéria orgânica.

A importância do estudo da biomassa tem crescido nos últimos anos e, de acordo com SIQUEIRA e FRANCO (1988), justifica-se por três aspectos: a) é formada por células vegetativas vivas, capazes de promoverem mudanças importantes no solo; b) devido a grande quantidade e ao fato de ser o maior componente lábil da matéria orgânica do solo, torna-se um importante reservatório de nutrientes; e c) representa um indicador de grande sensibilidade para avaliar as mudanças no solo. A quantificação da biomassa microbiana na forma de carbono permite acompanhar muito mais rapidamente as perturbações sofridas pelos microrganismos e as variações no total da matéria orgânica, decorrentes do manejo e uso do solo, pois reage com maior rapidez do que os parâmetros físico-químicos (POWLSON; BROOKES; JENKINSON, 1987).

Para WARDLE e HUNGRIA (1994), os trabalhos envolvendo análise da biomassa microbiana do solo podem fornecer informações extremamente úteis sobre a dinâmica da matéria orgânica do solo. Conseqüentemente, os estudos levam ao conhecimento da importância do funcionamento do ecossistema e na qualidade do solo refletindo, a longo prazo, na produtividade.

2.3.1 Métodos para a determinação da biomassa microbiana

Os principais métodos empregados para avaliação da biomassa microbiana são da fumigação-incubação (JENKINSON; POWLSON, 1976), fumigação-extração (VANCE; BROOKES; JENKINSON, 1987) e adição de glicose ao substrato (*substrate induced respiration* – SIR) (ANDERSON; DOMSCH, 1978).

a. Fumigação-incubação

O método, desenvolvido por JENKINSON e POWLSON (1976), trabalha com a hipótese que um solo esterilizado e depois inoculado com uma pequena quantidade de microrganismos, produz um grande fluxo de respiração. Isto se deve à decomposição dos microrganismos que estavam originalmente presentes no solo e que foram mortos pela fumigação. Assume-se que este fluxo é diretamente proporcional à quantidade de microrganismos no solo antes da esterilização e, sendo assim, a biomassa microbiana pode ser calculada diretamente, seguindo-se uma calibração apropriada (WARDLE; HUNGRIA, 1994). O clorofórmio (livre de etanol) é o agente químico utilizado na fumigação.

b. Fumigação-extração

A técnica de fumigação-extração (VANCE; BROOKES; JENKINSON, 1987), envolve a eliminação dos microrganismos do solo pelo clorofórmio, como no método de fumigação-incubação. A diferença entre os métodos, é que o carbono liberado pela morte dos microrganismos é determinado pela extração química ou digestão. Além da determinação da biomassa microbiana do carbono, o método permite a determinação do nitrogênio do solo (GAMA-RODRIGUES; GAMA-RODRIGUES; BARROS, 1997).

c. Respiração por indução do substrato (SIR)

Este método permite calcular a biomassa microbiana a partir dos resultados obtidos na respiração induzida pelo substrato. O método conhecido como SIR e descrito por ANDERSON e DOMSCH (1978), assemelha-se ao de respiração microbiana descrito por JENKINSON e POWLSON (1976). Segundo JENKINSON e LADD (1981) a maioria dos microrganismos no solo é dormente, assim a taxa de respiração é baixa. Porém, eles acreditam que a respiração pode ser estimulada somando ao solo um substrato de fácil decomposição. A diferença é a adição de um substrato (glicose) a uma subamostra de solo. A função da glicose é induzir o metabolismo e acelerar o processo de respiração dos microrganismos do solo. A glicose é comumente usada como substrato porque a maioria dos microrganismos podem utilizá-la prontamente como fonte de carbono (STOTZKY; NORMAN, 1961).

O método da respiração induzida pelo substrato envolve a adição de glicose a uma subamostra de solo e a avaliação da respiração, antes que o crescimento microbiano ocorra. Este nível de glicose é determinado através de experimentação preliminar, para cada tipo de solo sob investigação. Isso é feito pela incubação de subamostras de solo com várias concentrações de glicose e pela determinação da quantidade mínima de glicose necessária à produção de uma resposta respiratória máxima. A resposta respiratória é avaliada algumas horas após a adição da glicose (ANDERSON; DOMSCH, 1978).

A taxa de respiração avaliada pelo método de indução do substrato (SIR), é fortemente influenciada através do conteúdo de água do solo (WARDLE; PARKINSON, 1990).

Para a determinação da biomassa microbiana é necessário obter, primeiramente, a quantidade de C-CO₂ liberado pelo processo de respiração das amostras de solo incubadas com glicose. O cálculo da biomassa microbiana é determinado utilizando a equação proposta por ANDERSON e DOMSCH (1978). O método foi calibrado em relação ao da fumigação-incubação, propondo a seguinte fórmula:

$$B = 40,04X + 0,37$$

Onde:

B = biomassa microbiana ($\text{mgC} \cdot 100\text{gss}^{-1}$)

X = taxa de respiração ($\text{mgC} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot 100\text{gss}^{-1}$)

Uma das vantagens do método de indução do substrato (SIR), é a possibilidade de medição da biomassa bacteriana e fúngica, onde, juntamente com a adição de glicose ao solo, adiciona-se um antibiótico capaz de inibir a atividade microbiana (LIN; BROOKES, 1999; JOHNSON et al., 1996).

d. Outras técnicas

A microscopia direta é o método mais antigo utilizado na avaliação da biomassa microbiana. Embora tenha sido substituída – em grau significativo – por outros métodos, nos últimos anos, ainda pode fornecer informações úteis sobre a natureza e a composição da biomassa microbiana do solo (WARDLE; HUNGRIA, 1994).

Um dos métodos mais utilizados para a determinação da biomassa é o de fumigação com o uso de clorofórmio. Porém, JENKINSON e POWLSON (1976) consideram o clorofórmio pouco eficiente como biocida para alguns microrganismos. Baseado nisso, FERREIRA; CAMARGO e VIDOR (1999), testaram o uso de microondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. O forno microondas foi utilizado tanto no método de fumigação-incubação como no método de fumigação-extração, substituindo o clorofórmio na esterilização das amostras de solo. Eles observaram que a irradiação por 2 minutos foi suficiente para estimar o C e o N presentes na biomassa microbiana nos procedimentos de extração e incubação, com valores semelhantes aos estimados pelo uso do clorofórmio. A irradiação por microondas também reduziu o coeficiente de variação pela fumigação.

Outro método é o de extração e determinação de ATP descrito por JENKINSON e OADES (1979).

Segundo WARDLE e HUNGRIA (1994) nenhum método tem aplicabilidade universal e métodos diferentes podem ser apropriados sob diferentes circunstâncias respondendo diferentes questões. Por exemplo, o método de fumigação, o mais utilizado, deve ter aplicação cautelosa quando utilizado para calcular a biomassa

microbiana em solos com recentes adições de substrato, em virtude da incerteza do cálculo (SAMPAIO; SALCEDO; MAIA, 1986). Com isso, muitos trabalhos de pesquisa utilizam mais de um método na determinação da biomassa microbiana. GRISI e GRAY (1986) compararam os métodos de fumigação, adição de glicose ao substrato e conteúdo de ATP para a determinação da biomassa em diferentes solos, mostrando que os métodos apresentavam forte correlação entre si.

LIN e BROOKES (1996) testaram duas formas de glicose (sólida e líquida) na determinação da biomassa pelo método de indução do substrato, em 30 amostras de solos, com diferentes teores de C orgânico, pH e argila. Os resultados mostraram semelhança entre as formas de adição da glicose.

FEIGL et al. (1995), compararam os métodos de fumigação (incubação e extração) e o método de adição de glicose ao substrato (SIR), para a determinação da biomassa microbiana em solos da Amazônia. Os resultados mostraram que para determinado tipo de solo, o método adição de glicose (SIR), não é recomendado.

2.4 INFLUÊNCIA DE FATORES BIÓTICOS E ABIÓTICOS SOBRE A RESPIRAÇÃO E A BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO

2.4.1 Biológicos

a. Protozoários e Nematóides

A estimulação dos microrganismos do solo pela adição de substrato, por exemplo, parece induzir um aumento de micro e macrofauna associada (protozoários e nematóides). Esse incremento pode, por outro lado, causar supressão das bactérias e dos fungos através da pressão alimentar e pressão física (CLARHOLM, 1984). Isto parece ocorrer mais com bactérias do que com fungos e qualquer aumento potencial das bactérias, induzido por retorno da matéria orgânica ou efeitos da rizosfera, parece ser anulado por essas pressões dos protozoários e nematóides (INGHAM et al., 1986). As bactérias são usualmente consumidas ao acaso e menos adaptadas que os fungos em suportar a pressão da macrofauna do solo. Os fungos possuem uma gama de adaptações, tanto morfológicas quanto químicas, na competição com protozoários e nematóides. Embora a biomassa fúngica às vezes seja reduzida (WASILEWSKA; JAKUBECZYK; PAPLINSKA, 1975),

os efeitos não são usualmente severos. Aparentemente, portanto, a biomassa bacteriana é regulada por forças “de cima para baixo” (pela macrofauna, por exemplo), enquanto que os fungos são regulados “de baixo para cima”, ou seja, pela disponibilidade de substratos e níveis de matéria orgânica (WARDLE; YEATES, 1993; WARDLE; HUNGRIA, 1994). Interações entre a microfauna e a biomassa microbiana (principalmente bactérias), incrementam a ciclagem microbiana, que tem implicações importantes para intensificar a disponibilidade de nutrientes (BOUWMAN et al., 1994) e o crescimento das plantas (INGHAM et al., 1985).

b. Ácaros e Colêmbolos

Os colêmbolos e muitas espécies de ácaros são saprófagos, alimentando-se de restos de vegetais e hifas fúngicas que crescem através deles. Muitas espécies se alimentam seletivamente sobre hifas presentes na superfície dos restos vegetais. Quando ácaros e colêmbolos se alimentam de fungos, isso é benéfico para os fungos do solo, provavelmente resultando em estímulo ao crescimento das hifas, o que ocorre pela remoção de hifas senescentes, pela transformação de resíduos e pelo estímulo à dispersão (VISSER, 1985). Um crescimento compensatório considerável dos fungos pode ser constatado se ocorrer um grau elevado de fragmentação do habitat pelos colêmbolos (BENGTSSON; HEDLUND; RUNDGREN, 1993). A biomassa fúngica e a produtividade são freqüentemente maximizadas na presença de uma população intermediária de microartrópodos, mas em solos onde a população é intensa, geralmente ocorre supressão da biomassa fúngica (HANLON, 1981). O aumento da massa fúngica e a liberação de nutrientes, causados por uma população intermediária de microartrópodos do solo, podem resultar em uma importante contribuição para a mineralização da matéria orgânica do solo e dos restos culturais (SEASTED, 1984).

c. Macrofauna

O grupo mais conhecido e estudado da macrofauna é o das oligoquetas terrestres (minhocas). A influência das minhocas sobre os microrganismos resulta da modificação do material ingerido por elas ao passar pelo trato intestinal. Isto acontece, possivelmente, porque as oligoquetas estimulam alguns microrganismos através da modificação da natureza química e física do seu ambiente e,

simultaneamente, pela digestão de outros microrganismos, principalmente fungos (EDWARDS; FLETCHER, 1988). O resultado é que a composição da massa microbiana é alterada, enquanto que a biomassa total geralmente não é afetada (SCHEU, 1990, 1994). As oligoquetas podem também causar efeito indireto nos microrganismos do solo, pelo aumento na infiltração, revolvimento de restos culturais para camadas profundas e intensificação da produtividade das plantas (WARDLE, 1992).

A macrofauna saprófaga (por exemplo: miriápodes, besouros, formigas e cupins) pode ser extremamente abundante em alguns ecossistemas e a passagem de materiais através dos seus tratos intestinais pode ter efeitos diretos e importantes para os microrganismos do solo (ANDERSON; INESON; HUIH, 1983; WOLTERS, 1989). A macrofauna predatória (por exemplo: aranhas, carabídeos e estafilínídeos) pode estimular a biomassa microbiana ao se alimentar daqueles organismos que consomem microrganismos (KAJAK et al., 1993; WARDLE, 1992).

d. Vegetação

A vegetação é a principal responsável pela deposição de materiais orgânicos no solo, especialmente através da queda de material morto do dossel, de restos culturais formando a serapilheira ou resteva e da rizodeposição no solo próximo às raízes. Além de conter grandes quantidades de carbono, nutrientes e energia, o conjunto serapilheira-solo faz a comunicação entre o solo e a vegetação constituindo-se em um habitat onde ocorre abundante fauna e comunidade heterotrófica (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

As plantas normalmente estimulam a biomassa microbiana, principalmente porque a rizosfera está constantemente exsudando formas prontamente disponíveis de C e N (SMITH; PAUL, 1990), que são absorvidas pelos microrganismos, evidenciado por estudos com isótopos (BOTTLNER; MNEIMNE; BILLES, 1984; SCHNÜRER; ROSSWALL, 1987).

Este padrão de estímulo, entretanto, não é universal. As plantas às vezes reduzem a biomassa, provavelmente pela competição por nutrientes com as raízes (OKANO; SATO; INOUE, 1991). Foi sugerido, ainda, que as plantas podem estimular ou inibir a biomassa, dependendo de qual força for determinante, o estímulo da rizosfera ou a imobilização (van VEEN; MERCKX; van GEIJN, 1989).

Como as plantas regulam a fonte de nutrientes para os microrganismos e contribuem qualitativa e quantitativamente para o acúmulo de matéria orgânica, a natureza da comunidade vegetal é muito importante. Conseqüentemente, os estudos sobre sucessão de plantas normalmente mostram padrões previsíveis de acúmulo de biomassa, pelo menos nos estágios iniciais (HALVORSON; SMITH; FRANZ, 1991; FENN et al., 1993). Essas mudanças são, quase que certamente, relacionadas às limitações de C e N (ZAK et al., 1990; BOSATTA; ÁGREN, 1994) e, nos estágios posteriores, possivelmente devido ao P (SCHEU, 1990). Flutuações temporais da biomassa microbiana também são menores nos sistemas posteriores de sucessão (SANTRUCKOVA, 1992), sugerindo que a dinâmica da biomassa microbiana estabiliza à medida que o ecossistema desenvolve.

2.4.2 Químicos

a. Teores de carbono e nitrogênio

A biomassa microbiana responde rapidamente à adição de carbono (C) e nitrogênio (N) prontamente disponíveis (NORDGREN, 1992), sugerindo que a maioria dos componentes microbianos do solo está limitada pelo C e pelo N (KNAPP; ELLIOTT; CAMPBELL, 1983; COCHRAN; HORTON; COLE, 1988). A biomassa microbiana, entretanto, está mais freqüentemente relacionada ao N do que ao C do solo (MARTENS, 1987; van de WERF; VERSTRAETE, 1987) e a proporção do C orgânico do solo imobilizado na biomassa microbiana (ou relação C da biomassa: C orgânico) está freqüentemente correlacionada negativamente com a relação C:N no solo (WARDLE, 1992). Os dados apresentados por BEARE et al. (1990) demonstraram que a biomassa microbiana na cobertura vegetal morta é correlacionada positivamente com o teor de N e negativamente com o teor de C dessa cobertura. Muitos estudos sobre a decomposição da cobertura vegetal morta mostraram que o N, e não o C, regula a atividade dos microrganismos decompositores e as taxas de decomposição (SWIFT; HEAL; ANDERSON, 1979; TAYLOR; PARKINSON; PARSONS, 1989).

b. Matéria Orgânica

A matéria orgânica do solo apresenta-se como um sistema complexo de substâncias, cuja dinâmica é governada pela adição de resíduos orgânicos de diversas naturezas, de plantas, animais e microrganismos; e por uma transformação contínua sob ação de fatores biológicos, químicos e físicos (SANTOS; CAMARGO, 1999).

A dinâmica da biomassa microbiana está estreitamente correlacionada à dinâmica da matéria orgânica do solo. A maioria dos sistemas naturais é fortemente limitada por nutrientes (GOTTSCHAL, 1990), o que faz com que os microrganismos tenham crescimento lento ou mesmo fiquem em estado dormente. Nessas condições, as células ficam estressadas e, durante longos períodos, pode ser constatada a ausência de replicação do cromossomo (CHESBORO; ARBIDGE; EIFFERT, 1990). Nos ecossistemas florestais, a quantidade de nutrientes no solo está diretamente relacionada ao aporte de folhas e com a decomposição realizada pelos microrganismos (PELCZAR; REID; CHAN, 1981).

Fatores que alteram os teores de matéria orgânica do solo normalmente provocam também alterações na biomassa microbiana. Isto é particularmente evidente quando resíduos de plantas são adicionados ao solo (SORENSEN, 1983; DALAL; HENDERSON; GLASBY, 1991), ou quando ocorre um decréscimo no teor de matéria orgânica (WEST; ROSS; COWLING, 1986; BONDE; SCHNURER; ROSSWALL, 1988).

A quantidade da matéria orgânica também é importante para estimular a biomassa microbiana e adições de resíduos de alta qualidade podem aumentar a relação C microbiano: C orgânico nos solos (POWLSON, BROOKES; JENKINSON, 1987; SAFFIGNA et al., 1989). O C e o N presentes na cobertura vegetal morta e nos compostos derivados desta cobertura são, de um modo geral, aproveitados imediatamente pela biomassa microbiana, conforme tem sido demonstrado em estudos com isótopos (AMATO; LADD, 1980; LADD; OADES; AMATO, 1981; OCIO; MARTINEZ; BROOKES, 1991).

c. pH

A calagem do solo (que eleva o pH) e a adubação amoniacal (que baixa o pH), têm influência muito grande sobre os microrganismos do solo (PRIMAVESI, 1979).

A biomassa microbiana é normalmente relacionada positivamente com o pH do solo (WARDLE, 1992). Embora a acidificação freqüentemente exerça efeitos negativos na biomassa microbiana, o grau de inibição é bastante variável. Em algumas situações, a biomassa só é inibida quando o pH atinge valores muito baixos, como 2,0 e 3,0 (BÅÅTH; LUNDGREN; SÖDERSTRÖM, 1979). A importância do aumento do pH no incremento da biomassa microbiana também foi demonstrada pela adição de calcário (von LÜTZOW et al., 1992; SMOLANDER; MALKONEN, 1994). Entretanto, embora a calagem inicialmente estimule a biomassa microbiana, segundo ANDRADE; MIYAZAWA e HAMAKAWA (1994), após um determinado valor de pH, começa ocorrer inibição. Ao reexaminar dados de literatura, WARDLE (1992) encontrou que, na análise da variação espacial da biomassa microbiana, o efeito do pH é geralmente menos importante do que o teor de C ou N, mas que o pH apresenta importância semelhante ao C e N quando a variação espacial da relação C:N é considerada.

Outros fatores que afetam os organismos e que são indiretamente influenciados pelo pH são a disponibilidade e toxidez de nutrientes minerais. Ferro, Mn, Zn são menos disponíveis em valores de pH acima de 7,0. Ferro, Al, Mn atingem níveis tóxicos em valores de pH menores que 5,0 e o P está menos disponível em valores altos ou baixos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

d. Metais pesados e pesticidas

Os metais pesados podem influenciar fortemente a biomassa microbiana, sendo bastante importante quando a contaminação ocorre de um modo contínuo por vários anos (BROOKES; McGRATH, 1984). Como exemplo, tem-se que a biomassa microbiana é afetada por altos níveis de cobre, podendo-se observar que a relação C:N da biomassa é reduzida nas proximidades das minas de cobre (BÅÅTH; ARNEBRANT; NORDGREN, 1991). Os fungicidas freqüentemente exercem efeito inibitório nos componentes fúngicos da biomassa microbiana (ANDERSON; ARMSTRONG; SMITH, 1981), mas os herbicidas tendem a exercer efeitos

favoráveis, geralmente de menor importância e intensidade, quando comparados com a variação espacial e temporal da biomassa microbiana (WARDLE; PARKINSON, 1991).

2.4.3 Físicos

a. Textura

A textura do solo exerce efeitos importantes na biomassa microbiana e um teor elevado de argila estimula a manutenção desta. Isso provavelmente porque a argila aumenta a absorção dos produtos orgânicos e nutrientes, serve como tampão às mudanças de pH e protege os microrganismos contra predadores (SMITH; PAUL, 1990).

b. Estrutura

A biomassa microbiana do solo também é alterada pela estrutura do solo e, com o aumento no tamanho e estabilidade dos agregados, geralmente ocorre um incremento no teor da biomassa (DRURY; STONE; FINDLAY, 1991; CARTER; MELE, 1992). Em sistemas de cultivo onde as práticas de preparo do solo são minimizadas, a estabilidade dos agregados do solo aumenta. Essas condições do plantio direto favorecem o desenvolvimento de hifas de fungos (HENDRIX et al., 1986).

c. Umidade

A biomassa microbiana é composta de diversas espécies que apresentam diferenças de suscetibilidade à seca. Além disso, a biomassa microbiana em solos submetidos a ciclos freqüentes de secagem e umedecimento é, de um modo geral, mais resistente à deficiência hídrica do que a biomassa de solos que não passam por ciclos de umidade (SPARLING; ORD; VAUGHAN, 1981). As condições de seca reduzem a disponibilidade de solutos e, portanto, é razoável assumir que os microrganismos adaptados à seca sejam tolerantes a períodos longos sem nutrientes (ROSACKER; KIEF, 1990). Por outro lado, o metabolismo anaeróbico é menos ativo do que o aeróbico e, provavelmente por isso, a biomassa de solos

continuamente alagados é inferior a dos solos com boa aeração (PFENNING; EDUARDO; CERRI, 1992).

d. Aeração

HEISLER e KAISER (1995), KAISER; WALENZIK e HEINEMEYER (1995) e DICK; MYROLD e KERKLE (1988) demonstraram que há uma redução da biomassa de carbono microbiano em solos compactados quando comparados a solos não-compactados. Isto, segundo os autores, pode ser atribuído à restrição de aeração nos solos compactados (KAISER et al., 1991), o que os levou a considerar a biomassa de carbono microbiano como um indicador sensível das mudanças nas propriedades biológicas do solo (CARTER, 1986).

e. Temperatura

A temperatura do solo afeta não só as reações fisiológicas das células, mas também características físico-químicas do ambiente que, por sua vez, influenciam o ambiente microbiano (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

Para JOERGENSEN; BROOKES e JENKINSON (1990) a temperatura do solo afeta a biomassa microbiana, mesmo que não se tenha um entendimento perfeito sobre os processos envolvidos, porque temperaturas elevadas podem encorajar a atividade microbiana com a conseqüente deficiência de substrato, resultando no declínio da biomassa microbiana. Entretanto, a biomassa microbiana mostra relações variáveis com a temperatura, o que está presumivelmente relacionado com a temperatura ótima das espécies presentes em um determinado sistema (WARDLE, 1992). Ciclos de congelamento e descongelamento podem ser importantes na ciclagem microbiana, uma vez que o descongelamento é rapidamente seguido pelo crescimento microbiano, auxiliado, ainda que parcialmente, pela disponibilidade de substrato (FLANAGAN; van CLEVE, 1983).

2.5 CULTURAS COMERCIAIS DE PUPUNHA E PALMEIRA-REAL

A pupunha e a palmeira-real são plantas monocotiledôneas da família das palmáceas (LORENZI et al., 1996). Possuem valor econômico e ornamental muito grande, pois são plantas que convertem a energia solar em produtos preciosos para

o homem, tais como cocos, tâmaras, palmito, açúcar, sagu, óleo, cera, fibras e material para construção de habitações rústicas (ALVES; DEMATTÊ, 1987).

2.5.1 Pupunha

A pupunha foi distribuída pelos Ameríndios no período pré-Colombiano, desde seu provável centro de origem e domesticação no sudoeste da Amazônia (CLEMENT, 1988), sendo nativa de florestas do norte da América do Sul (ALMEYDA; MARTIN, 1980).

A pupunha é uma palmeira adaptada a diversos tipos de solos e climas de regiões tropicais (ALMEYDA; MARTIN, 1980). Possui troncos múltiplos (que chegam a 20 m de altura), com muitos espinhos negros. Os frutos maduros possuem cor vermelha ou amarela, com forma e tamanhos variáveis (LORENZI et al., 1996).

O plantio da pupunha é feito em espaçamento de 2,0 m x 1,0 m (5.000 plantas/ha). A primeira coleta deve ser feita quando o tronco apresentar um entrenó visível, geralmente após 18 meses ou quando o tronco possui 1,5 m de altura (dependendo da destinação do uso).

Há pesquisas que mostram ocorrência de micorrizas do tipo VMA (vesículo-arbusculares), em associação com raízes de algumas palmeiras, entre elas a *Bactris gasipaes* (BOVI; GODOY-JÚNIOR; SAES, 1987).

2.5.2 Palmeira-real

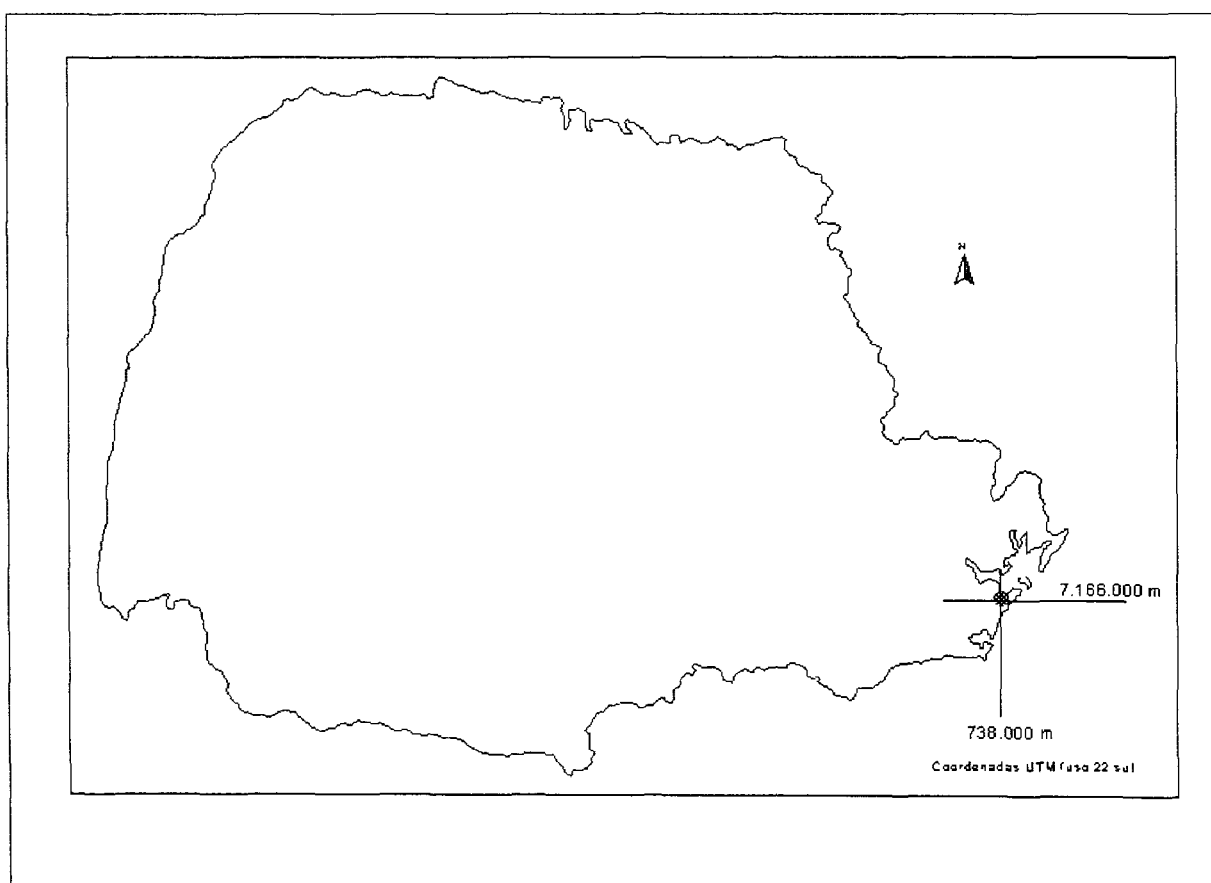
A palmeira-real (*Archontophoenix alexandrae*) é de origem australiana e possui tronco de 15 a 20 m de altura e em torno de 17 cm de diâmetro, sendo espesso e dilatado na base, anelado e afunilado em direção ao topo, apresentando palmito vistoso e grosso. As folhas são pinadas, grandes, recurvadas ou direitas, de folíolos longos, acinzentados na fase inferior. Inflorescência ramificada, porém curta, na base do palmito, de flores branco-creme. Frutos globosos, pequenos, vermelhos (LORENZI et al., 1996).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 DESCRIÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO

A pesquisa foi realizada em área particular, conhecida como Sítio do Vovô Miguel, onde há plantação comercial de pupunha (*Bactris gasipaes*) e de palmeira-real (*Archontophoenix alexandrae*). Essa área está localizada na Planície Pleistocênica do Litoral Paranaense, município de Paranaguá-PR, entre as coordenadas UTM 737.100 m e 738.230 m S e 7.166.000 m e 7.167.000 m W fuso 22 (MAPA 1).

MAPA 1 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO



O solo da área experimental é caracterizado como sendo: Latossolo Vermelho-Amarelo/Cambissólico (EMBRAPA, 1999), tendo como material de origem o granito pórfiro. O relevo é suave ondulado, com declividade de 3 a 8% (EMBRAPA, 1999).

A faixa litorânea do Estado do Paraná tem seu clima classificado como Af, segundo a classificação de Köppen, que o caracteriza como clima tropical chuvoso, sem estação seca e isento de geadas. Apresenta índices médios de umidade relativa do ar maiores que 86%, em virtude da influência oceânica e da transpiração das matas pluviais existentes (IAPAR, 1978).

Os dados climatológicos medidos entre os anos de 1998 a 2001, mostram que os meses de janeiro, fevereiro e março são os que apresentam temperaturas mais elevadas (25 e 30°C). De abril a agosto as temperaturas caem, voltando a subir a partir de setembro. Segundo as cartas climáticas do IAPAR, a precipitação anual para a região está entre 2000 a 2500 mm.

A área de estudo está inserida em região de Floresta Atlântica (Floresta Ombrófila Densa) e, de acordo com a altitude (10 a 30 m s.n.m.), é caracterizada como Floresta Ombrófila Densa de Planície ou de Terras Baixas (PEÑA, 2002).

3.2 DETALHAMENTO DO EXPERIMENTO E DESCRIÇÃO DOS TRATAMENTOS

Para as amostragens foram feitas coletas mensais (no período de Nov./02 a Abr./03), nas seguintes datas: 22/11/02, 19/12/02, 30/01/03, 26/02/03, 27/03/03 e 28/04/03.

Antes da retirada das amostras de solo foi feita a limpeza da superfície para a retirada de restos de plantas, folhas e galhos, com o cuidado para não remover a camada superficial do solo. Assim, o solo foi coletado com trado tipo calador, a uma profundidade de 5 cm. As coletas foram feitas em 5 áreas, correspondendo a 5 tratamentos, com 5 repetições. Como os tratamentos eram formados por áreas com menos de 3 ha, aceitou-se a sugestão da UFPR (2003), retirando de cada área 15 amostras simples de solo (subamostras), formando 1 amostra composta (1 repetição) retiradas aleatoriamente da área experimental, totalizando 25 amostras de solo em cada época de amostragem. Após as coletas, o solo foi homogeneizado e acondicionado em sacos plásticos, identificados e armazenados em caixa de isopor com gelo até a chegada ao laboratório de Biologia do Solo da UFPR.

No laboratório, as amostras de solo foram novamente homogeneizadas, peneiradas em malha de 2 mm e separadas subamostras para análises biológicas (respiração e biomassa microbiana), análises químicas (fertilidade) e análises físicas (granulometria, umidade gravimétrica e capacidade de retenção de água).

Os tratamentos foram escolhidos por apresentarem características distintas, quanto ao desenvolvimento (pupunha) e tipo de cultivo (pupunha e palmeira-real), comparando-os com uma área não cultivada (área de bosque). O QUADRO 1 detalha as características de cada tratamento.

QUADRO 1 – DESCRIÇÃO DOS TRATAMENTOS UTILIZADOS NA ANÁLISE DA RESPIRAÇÃO E DA BIOMASSA MICROBIANA

TRATAMENTO	LOTE*	MÊS E ANO DO PLANTIO	CARACTERÍSTICAS
1	LXVI	01/2002	Pupunha fase inicial - PFIC (FIGURA 1)
2	LVI	01/1999	Pupunha fase intermediária - PFIT (FIGURA 2)
3	LI	12/1996	Pupunha fase adulta - PFAD (FIGURA 3)
4	LI	09/1999	Palmeira-real - PR (FIGURA 4)
5	LI	-----	Área de bosque - AB

* Denominação dos tratamentos na área de estudo.

Área de bosque foi definida, aqui, como uma pequena área destinada ao lazer, com gramíneas e algumas espécies nativas da Floresta Atlântica (Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas) e algumas espécies exóticas. O tratamento AB era limpo semanalmente para retirada de folhas secas e galhos.

FIGURA 1 – TRATAMENTO 1 (PUPUNHA FASE INICIAL - PFIC)



FIGURA 2 – TRATAMENTO 2 (PUPUNHA FASE INTERMEDIÁRIA – PFIT)



FIGURA 3 – TRATAMENTO 3 (PUPUNHA FASE ADULTA - PFAD)



FIGURA 4 – TRATAMENTO 4 (PALMEIRA-REAL - PR)



Como os tratamentos estão situados em área de declive suave ondulado (3 a 8%) (EMBRAPA, 1999), a solução empregada para evitar perdas de nutrientes e de material orgânico e mineral do solo, quando em épocas chuvosas, foi a abertura de covas com 0,5 m de diâmetro e cerca de 30 cm de profundidade, com um espaçamento de 2,0 x 1,0 m (5.000 plantas/ha) para pupunha e 1,5 x 0,4 m (16.000 plantas/ha) para a palmeira-real. Após a abertura das covas, o solo foi misturado juntamente com um composto formado por resíduos culturais e animais, serragem e calcário. O tamanho das covas dá condições suficientes para que a planta jovem possa ter um bom desenvolvimento radicular. O cultivo das plantas foi feito entre 2 e 3 meses após o preparo do solo.

Com exceção do tratamento AB, os demais tratamentos receberam adubação alternadamente 04-14-08 e 10-10-10 (NPK) e aplicação de calcário dolomítico uma vez ao ano.

3.3 HISTÓRICO DA ÁREA EXPERIMENTAL

Anteriormente ao plantio de pupunha e palmeira-real, há cerca de 20 anos, quatro das cinco áreas experimentais foram utilizadas para cultivo, sem fins comerciais, de mandioca, milho, feijão, cará e maracujá. A única área não cultivada compõe o tratamento AB, caracterizada pela presença de bosque.

3.4 AMOSTRAGENS

3.4.1 Biológicas

a. Respiração microbiana

Para a determinação da respiração microbiana, utilizou-se o método de JENKINSON e POWLSON (1976), onde a respiração foi avaliada após a incubação de 100 g de solo úmido juntamente com tubos de ensaio contendo água deionizada (para manutenção da umidade da amostra) e NaOH (0,5 N, padronizado com HCl) por um período de 10 dias em estufa a 25°C. Neste método, o CO₂ produzido pela respiração dos microrganismos, reagiu com o hidróxido de sódio (NaOH) e o excedente foi titulado com HCl (0,5 N). Para a titulação utilizou-se uma alíquota de

10 mL de NaOH juntamente com 1 mL de BaCl₂ (50%) e 3 gotas de fenolftaleína (1%). A equação utilizada para cálculo da taxa de respiração foi a seguinte (JENKINSON; POWLSON, 1976):

$$mgC-CO_2.100gss^{-1} = (P.B. - A) \times E \times N \times F.U.$$

Onde:

P.B.: prova em branco x fator de diluição (F.D.)

A: titulação da amostra x fator de diluição (F.D.)

E: equivalente grama do Carbono = 6

N: normalidade do NaOH

F.U.: fator umidade (100/(100-U%))

b. Biomassa microbiana pelo método de respiração por indução do substrato (SIR)

b.1 Teste preliminar

Para a determinação da quantidade de glicose e o tempo de incubação das amostras, fez-se um experimento que teve como objetivo adequar o método de determinação da biomassa por indução, para as amostras de solo em estudo. Para a adequação foram testadas cinco concentrações de glicose (30 mg, 60 mg, 120 mg, 180 mg e 300 mg), em subamostras de 30 g de solo seco. Foram testados também, quatro intervalos de tempo (1h, 2h, 3h e 4 horas). Para incubação das subamostras estabeleceu-se a temperatura de 25°C.

Como não houve diferença significativa entre os tratamentos, optou-se pela adição de 300 mg de glicose em cada subamostra de 30 g de solo seco. O período de incubação foi determinado em estufa a 25°C por 4 horas.

b.2 Determinação da respiração induzida pelo substrato

Para a determinação da biomassa microbiana, primeiramente calculou-se a respiração induzida pelo substrato, sendo determinada a partir do método de JENKINSON e POWLSON (1976), onde a respiração foi avaliada após a incubação de 30 g de solo úmido juntamente com 300 mg de glicose e um tubo de ensaio contendo NaOH (0,5 N), por um período de 4 horas em estufa a 25°C. A umidade do solo foi corrigida para 40% da capacidade de campo. Para a titulação utilizou-se uma

alíquota de NaOH juntamente com 1 mL de BaCl₂ (50%) e 3 gotas de fenolftaleína (1%). A equação utilizada para o cálculo da taxa de respiração foi a proposta por JENKINSON e POWLSON, 1976:

$$mgC-CO_2.h^{-1}.100gss^{-1} = \frac{(P.B. - A) \times E \times N \times F.U.}{N^{\circ}. \text{ de horas de incubação}}$$

Onde:

P.B.: prova em branco x fator de diluição (F.D.)

A: titulação da amostra x fator de diluição (F.D.)

E: equivalente grama do Carbono = 6

N: normalidade do NaOH

F.U.: fator umidade (100/(100-U%))

N°.: número de horas de incubação = 4 horas

O método utilizado para a determinação da biomassa é semelhante ao da respiração microbiana. A diferença está na quantidade de solo por amostra, na correção da umidade pela capacidade de campo, no tempo de incubação e na adição da glicose.

b.3 Cálculo da biomassa

Após a obtenção do resultado da respiração por indução do substrato, utilizou-se a equação proposta por ANDERSON e DOMSCH (1978), para o cálculo da biomassa microbiana.

$$B = 40,04 X + 0,37$$

Onde:

B = biomassa microbiana (mgC.100gss⁻¹)

X = taxa de respiração (mgC-CO₂.h⁻¹.100gss⁻¹)

c. Carbono microbiano

A relação carbono microbiano e carbono orgânico foi calculada para a obtenção da medida da qualidade da matéria orgânica do solo.

$$\% \text{ carbono orgânico na biomassa} = \frac{\text{biomassa (mgC.100gss}^{-1})}{\text{teor de C (mg)}} \times 100$$

d. Quociente metabólico

O quociente metabólico foi calculado pela razão da respiração microbiana em relação à biomassa microbiana.

$$qCO_2 = \frac{\text{respiração (mgC-CO}_2\text{.100gss}^{-1})}{\text{biomassa (mgC.100gss}^{-1})}$$

3.4.2 Químicas

a. Fertilidade do solo

Foram realizadas, mensalmente, análises químicas do solo entre os meses de Nov./02 a Abr./03. O solo utilizado na determinação da fertilidade foi o mesmo utilizado nas análises biológicas, sendo extraída uma subamostra de cada tratamento para as análises.

As análises químicas foram efetuadas no Laboratório de Química do Solo do Departamento de Solos do Setor de Ciências Agrárias da UFPR, onde foram determinados os seguintes parâmetros: pH (CaCl₂), Al⁺³, Ca⁺² + Mg⁺², Ca⁺², K⁺² e P, segundo metodologia da EMBRAPA (1979); e H + Al e teor de carbono orgânico determinado pelo método (RAIJ e QUAGGIO, 1979);

3.4.3 Físicas

a. Granulometria

Foi realizada apenas uma análise granulométrica do solo, com o objetivo de caracterizar os tratamentos. O solo utilizado foi coletado no dia 22/11/02 a uma profundidade de 0 a 5 cm.

A análise de granulometria do solo foi realizada no Laboratório de Física do Solo da UFPR, segundo o método da EMBRAPA (1979): a fração argila foi determinada pelo método do densímetro; a fração areia por tamisação; e a fração silte, por diferença, sendo as amostras inicialmente dispersas mecanicamente pelo agitador Stirrer.

b. Umidade gravimétrica do solo

A umidade gravimétrica foi determinada para cada uma das repetições de cada tratamento, em todas as coletas realizadas. O solo utilizado para a determinação da umidade foi o mesmo utilizado para as análises biológicas e químicas. A metodologia utilizada foi a recomendada pela EMBRAPA (1979), onde uma amostra de 10 g de solo úmido foi colocada em estufa por 48 h a 105°C. Para o cálculo utilizou-se a seguinte fórmula:

$$\text{Umidade (g/g)} = \frac{mu - ms}{ms} \times 100$$

Onde:

mu: peso da amostra úmida

ms: peso da amostra seca a 105°C

c. Capacidade de retenção de água

Para cada tratamento, foi calculada a capacidade de retenção de água para fins da determinação da biomassa microbiana, onde o solo foi ajustado para 40% da sua capacidade de campo.

O método empregado foi o da EMBRAPA (2000), onde amostras de 20 g de solo úmido foram saturadas com 100 mL de água deionizada e determinadas a sua capacidade de campo após 48 horas.

d. Dados climatológicos

Foram utilizados os dados de precipitação e temperatura do ar (mínima, média e máxima) diárias, do período de Set./02 a Maio/03. Os dados foram obtidos

na Estação Meteorológica (número 2548038) do IAPAR, situada no município de Morretes – PR, e fornecidos pelo SIMEPAR.

3.5 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA

O delineamento experimental considerado foi inteiramente casualizado com 5 tratamentos e 5 repetições. Sendo considerados os seguintes tratamentos: PFIC (pupunha fase inicial); PFIT (pupunha fase intermediária); PFAD (pupunha fase adulta); PR (palmeira-real); e AB (área de bosque).

A avaliação estatística foi realizada através da análise de variância entre os 5 tratamentos e as 6 épocas de amostragens, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Também foram feitas correlações entre os parâmetros físico-químicos do solo com a respiração e a biomassa microbiana (VIEIRA, 1996).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 PARÂMETROS FÍSICOS

4.1.1 Análise granulométrica

Segundo o diagrama triangular simplificado (utilizado pela EMBRAPA para classificação textural dos solos no Brasil *in* TOMÉ JÚNIOR (1997)), o tratamento PFAD possui textura siltosa e os demais tratamentos, textura média (TABELA 1).

TABELA 1 – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO SOLO REALIZADA EM NOV./02, NA CAMADA DE 0 A 5 cm DE PROFUNDIDADE

TRATAMENTO	A. FINA	A. GROSSA	AREIA	SILTE	ARGILA
	%				
PFIC	16	20	36	44	20
PFIT	12	38	50	34	16
PFAD	16	4	20	60	20
PR	12	40	52	30	18
AB	12	42	54	24	22

Nota: PFIC (pupunha fase inicial); PFIT (pupunha fase intermediária); PFAD (pupunha fase adulta); PR (palmeira-real) e AB (área de bosque).

4.1.2 Umidade gravimétrica

A umidade gravimétrica foi determinada em todas as épocas de coleta, sendo os resultados expressos na TABELA 2, calculados pela média entre cinco repetições.

TABELA 2 – UMIDADE GRAVIMÉTRICA (MÉDIA), AVALIADA ENTRE OS MESES DE NOV./02 A ABR./03, NA CAMADA DE 0 A 5 cm DE PROFUNDIDADE

TRATAMENTO	NOV./02	DEZ./02	JAN./03	FEV./03	MAR./03	ABR./03	MÉDIA
	%						
PFIC	22,72	17,52	23,49	22,74	24,45	22,73	22,28
PFIT	23,50	22,06	29,25	23,59	27,24	20,49	24,36
PFAD	23,39	21,52	25,50	19,93	24,60	24,44	23,23
PR	20,49	22,49	26,12	22,82	21,63	23,31	22,81
AB	24,61	23,46	30,93	26,20	29,47	24,64	26,55
MÉDIA	22,94	21,41	27,06	23,06	25,48	23,12	

Nota: PFIC (pupunha fase inicial); PFIT (pupunha fase intermediária); PFAD (pupunha fase adulta); PR (palmeira-real) e AB (área de bosque).

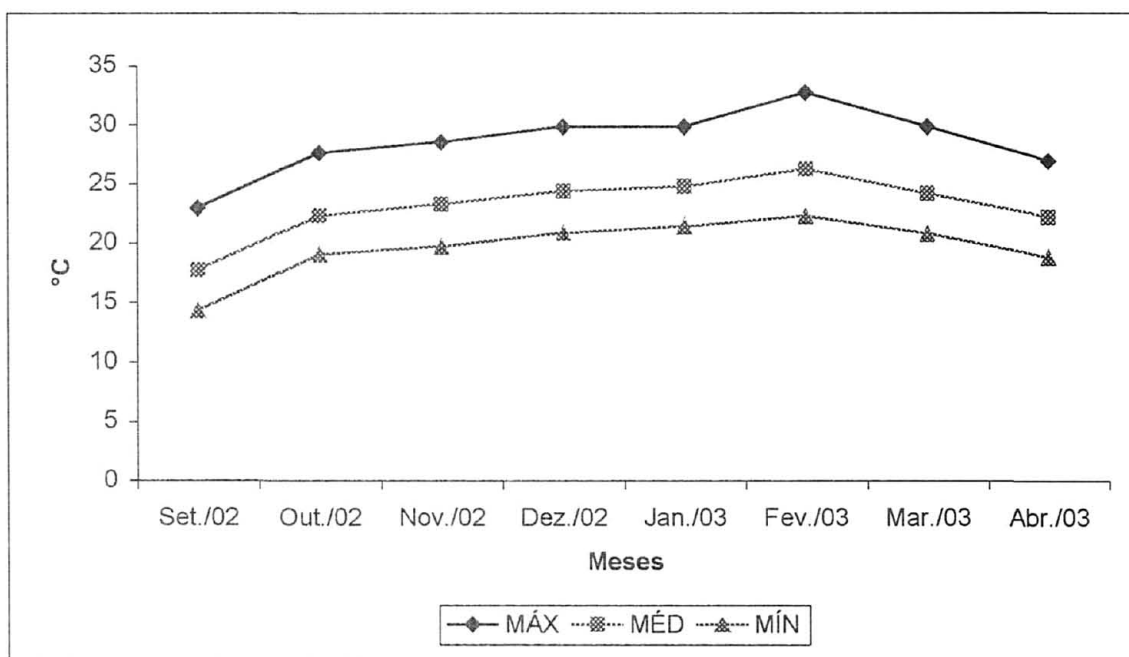
No tratamento PFIC a umidade do solo variou de 17,52 a 24,45%, no tratamento PFIT de 20,49 a 29,25%, no tratamento PFAD de 19,93 a 25,50%, no tratamento PR de 20,49 a 26,12% e no tratamento AB de 23,46 a 30,93%, sendo este o tratamento que apresentou maior umidade gravimétrica em todas as épocas de amostragem.

O tratamento PFAD apresentou grande quantidade de matéria orgânica, sendo este fator importante para a conservação da umidade do solo. Porém, foi o tratamento AB que apresentou a maior umidade gravimétrica em todas as épocas de amostragem. Nesse tratamento, onde o solo era coberto por grama, não existia acúmulo de material vegetal. Mesmo com algumas árvores, o tratamento AB era limpo semanalmente, excluindo a influência das folhas e galhos que caíam das árvores.

4.1.3 Flutuação da temperatura do ar e da precipitação pluvial

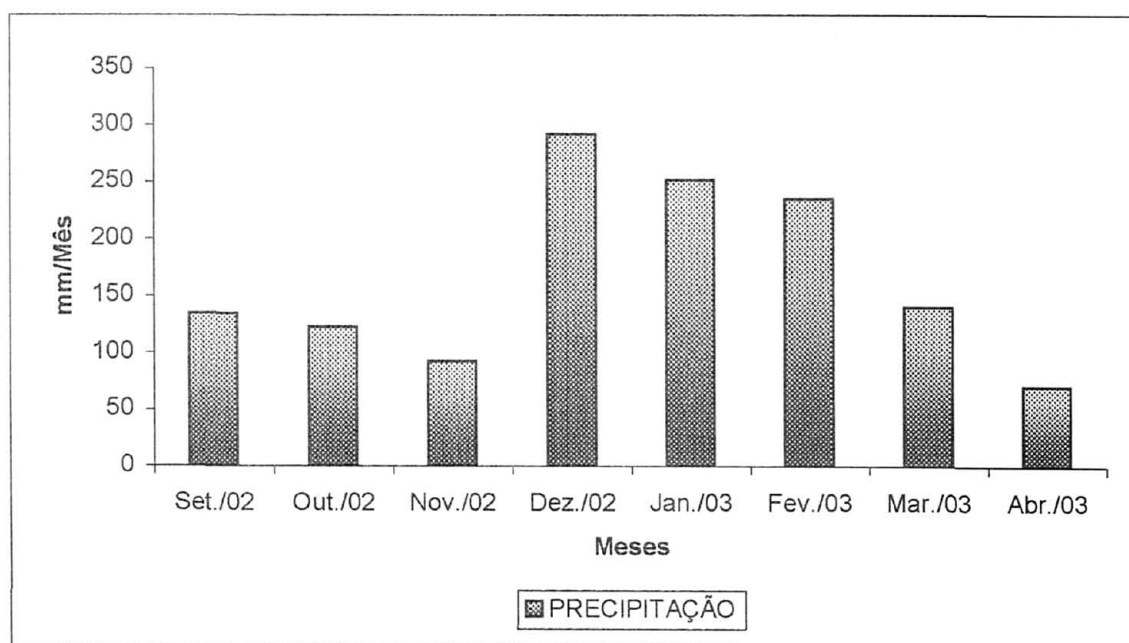
O GRÁFICO 1 mostra a flutuação da temperatura do ar (°C) mensal (máxima, média e mínima) e o GRÁFICO 2, a soma da precipitação total (mm/mês) entre os meses de Set./02 a Abr./03.

GRÁFICO 1 – TEMPERATURA DO AR (°C) MENSAL (MÁX., MÉD. E MÍN.), REGISTRADA NA ESTAÇÃO DO IAPAR EM MORRETES – PR, ENTRE SET./02 E ABR./03



FONTE: SIMEPAR

GRÁFICO 2 – PRECIPITAÇÃO TOTAL (mm/MÊS) REGISTRADA NA ESTAÇÃO DO IAPAR EM MORRETES – PR, ENTRE SET./02 E ABR./03



FONTE: SIMEPAR

4.2 PARÂMETROS DE FERTILIDADE DO SOLO

A análise da fertilidade do solo foi realizada em todas as épocas de amostragem, no período de Nov./02 a Abr./03. As amostras de solo encaminhadas para análise de fertilidade foram as mesmas utilizadas para a determinação da respiração e da biomassa microbiana.

Os resultados obtidos nas seis épocas de amostragem foram interpretados conforme sugestão da UFPR (2003).

A TABELA 3 apresenta as médias obtidas, em cada tratamento, dos resultados das análises de fertilidade do solo.

TABELA 3 – ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO PARA FINS DE FERTILIDADE, AVALIADA EM 5 TRATAMENTOS NA CAMADA DE 0 A 5 cm. MÉDIAS ENTRE OS MESES DE NOV./02 E ABR./03

Tratamento	pH	Al ⁺³	H+Al	Ca ⁺² +Mg ⁺²	Ca ⁺²	K ⁺²	T	P	C	pH	V
	CaCl ₂	cmol.dm ⁻³						mg.dm ⁻³	g.dm ⁻³	SMP	%
PFIC	5,9	0	2,9	8,8	5,1	0,30	12,00	10,9	32,5	6,7	75,67
PFIT	5,9	0	3,4	8,4	5,0	0,18	11,90	15,5	38,2	6,5	71,58
PFAD	5,2	0	4,3	5,5	3,3	0,14	10,00	6,1	31,2	6,2	56,78
PR	5,5	0	4,4	6,3	3,7	0,11	10,86	5,9	31,2	6,2	58,89
AB	4,0	2,0	10,4	1,3	0,8	0,18	11,86	2,9	35,4	5,0	12,61

Nota: PFIC (pupunha fase inicial); PFIT (pupunha fase intermediária); PFAD (pupunha fase adulta); PR (palmeira-real) e AB (área de bosque).

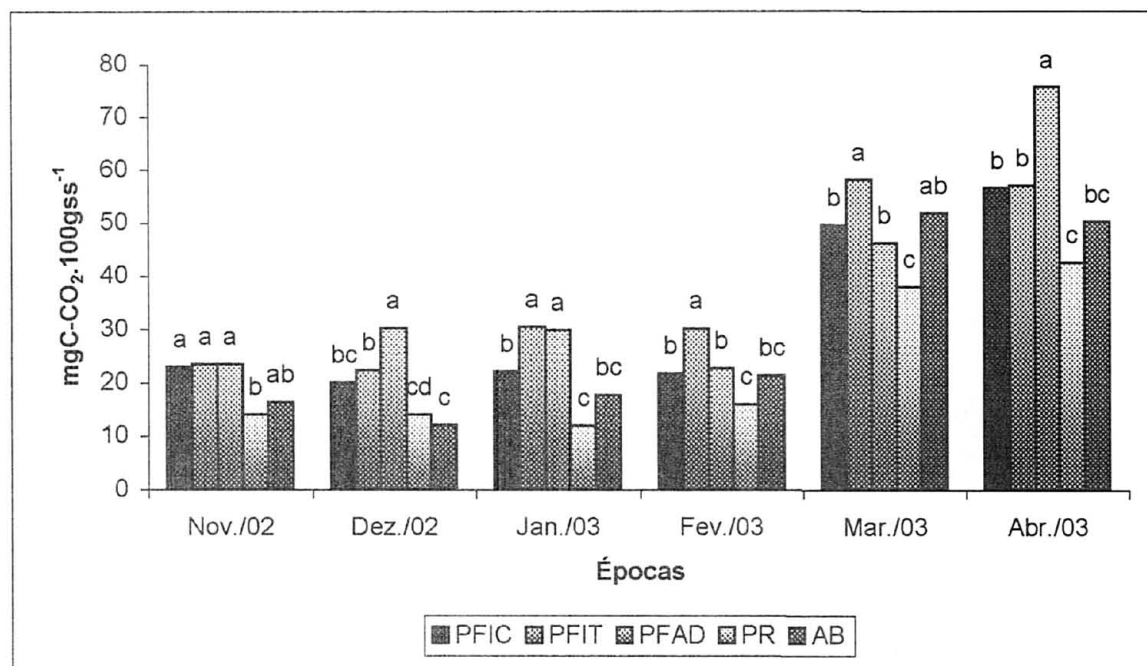
Conforme UFPR (2003), o pH do solo foi alto nos tratamentos PFIC e PFIT, médio nos tratamentos PFAD e PR e baixo no tratamento AB. O tratamento AB apresentou Al^{+3} no solo em quantidade alta (2,0), tendo, assim, a maior acidez potencial ($\text{H}+\text{Al}$). A quantidade de Ca^{+2} no solo foi alta nos tratamentos PFIC e PFIT, média nos tratamentos PFAD e PR e baixa no tratamento AB. Os tratamentos PFIC, PFIT e AB apresentaram teores médios de K^{+2} no solo, enquanto os tratamentos PFAD e PR apresentaram teores baixos. Com exceção do tratamento PFAD, os demais apresentaram alta capacidade de troca catiônica (T). As análises dos teores de fósforo no solo mostraram valores altos no tratamento PFIT, médio nos tratamentos PFAD e PFIC e baixo nos tratamentos PR e AB. O teor de carbono orgânico no solo foi alto em todos os tratamentos, devido à existência de biomassa vegetal sobre o solo. A saturação de bases (V%) foi alta nos tratamentos PFIC e PFIT, média nos tratamentos PFAD e PR e baixa no tratamento AB (TABELA 3).

O tratamento AB foi o que mais se diferenciou dos demais em relação à composição química. A explicação se dá pela ausência, neste tratamento, de qualquer espécie de cultivo, não havendo a prática da calagem. O pH do solo variou de 3,8 a 4,1 devido à alta quantidade de Al^{+3} influenciando, assim, todos os demais parâmetros químicos de fertilidade como a saturação de bases (V%), o $\text{Ca}^{+2}+\text{Mg}^{+2}$ e o Ca^{+2} .

4.3 RESPIRAÇÃO MICROBIANA DO SOLO

O tratamento PFIC apresentou resultados de produção de CO_2 que variaram de 19,93 a 56,48 $\text{mgC-CO}_2.100\text{gss}^{-1}$. O tratamento PFIT apresentou maior respiração em quatro das seis épocas avaliadas, seus resultados variaram de 22,25 a 58,14 $\text{mgC-CO}_2.100\text{gss}^{-1}$. O tratamento PFAD apresentou resultados de respiração que variaram de 22,70 a 75,64 $\text{mgC-CO}_2.100\text{gss}^{-1}$. Este foi o tratamento que apresentou, no mês de Abr./03, a maior taxa de respiração (75,64 $\text{mgC-CO}_2.100\text{gss}^{-1}$). O tratamento PR apresentou menor respiração microbiana em cinco das seis épocas estudadas, a taxa de respiração variou de 11,93 a 42,60 $\text{mgC-CO}_2.100\text{gss}^{-1}$. A respiração no tratamento AB variou de 12,09 a 51,83 $\text{mgC-CO}_2.100\text{gss}^{-1}$ (GRÁFICO 3).

GRÁFICO 3 – RESPIRAÇÃO MICROBIANA DO SOLO NA CAMADA DE 0 A 5 cm, NO PERÍODO DE NOV./02 A ABR./03, NOS TRATAMENTOS: PFIC (PUPUNHA FASE INICIAL), PFIT (PUPUNHA FASE INTERMEDIÁRIA), PFAD (PUPUNHA FASE ADULTA), PR (PALMEIRA-REAL) e AB (ÁREA DE BOSQUE)

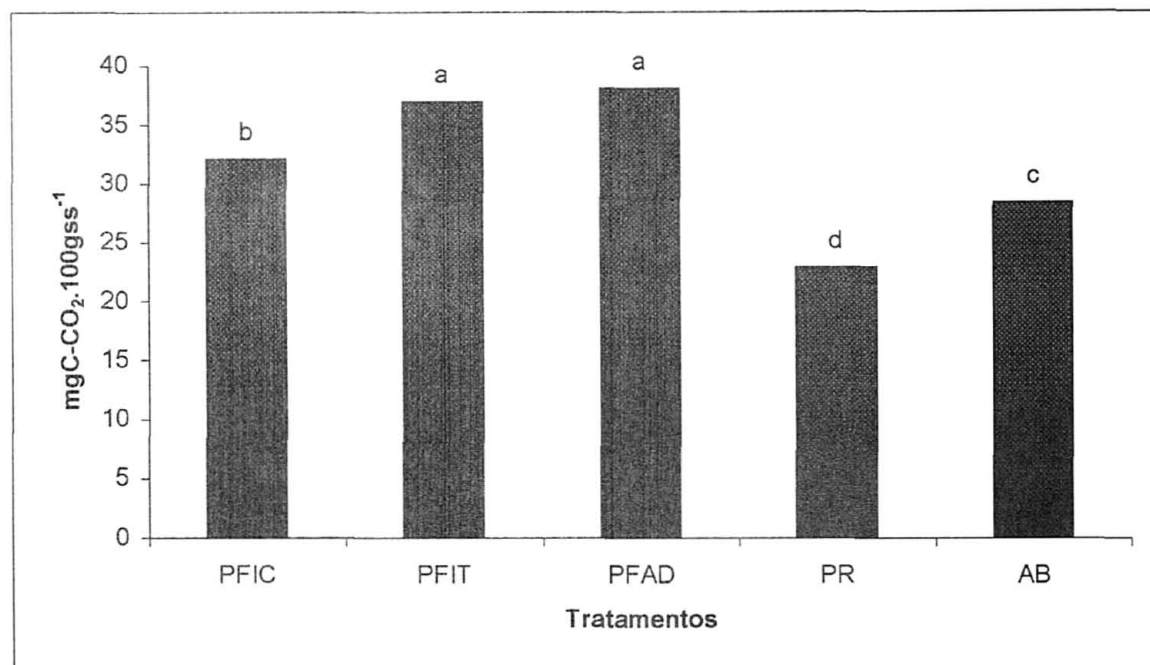


Nota: Colunas com letras iguais, dentro da mesma época, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

A respiração microbiana do solo nos tratamentos PFIC, PFIT e PFAD, em Nov./02, foi de 22,85, 23,38 e 23,33 $\text{mgC-CO}_2.100\text{gss}^{-1}$, respectivamente, sendo estatisticamente iguais na produção de CO_2 . O tratamento AB apresentou taxa de respiração menor que os três primeiros tratamentos, porém maior que o tratamento PR. Em Dez./02 o tratamento PFAD teve a maior taxa de respiração. Os resultados da coleta realizada em Jan./03, mostraram comportamento igual na produção de CO_2 nos tratamentos PFIT e PFAD. Os demais tratamentos apresentaram diferenças significativas entre si. Em Fev./03 o tratamento PFIT foi o que apresentou maior respiração microbiana. Em Mar./03 e Abr./03 houve elevação nas taxas de respiração microbiana do solo em todos os tratamentos. Destacando o tratamento PFIT em Mar./03 e PFAD em Abr./03. (GRÁFICO 3).

A análise estatística mostrou não haver diferença significativa entre os tratamentos PFIT e PFAD ao longo das seis épocas de amostragem (GRÁFICO 4).

GRÁFICO 4 – RESPIRAÇÃO MICROBIANA DO SOLO NOS TRATAMENTOS: PFIC (PUPUNHA FASE INICIAL), PFIT (PUPUNHA FASE INTERMEDIÁRIA), PFAD (PUPUNHA FASE ADULTA), PR (PALMEIRA-REAL) E AB (ÁREA DE BOSQUE), NA CAMADA DE 0 A 5 cm DE PROFUNDIDADE. MÉDIAS ENTRE AS ÉPOCAS DE NOV./02 E ABR./03



Nota: Colunas com letras iguais não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Observou-se que a produção de CO₂ entre os tratamentos foi: PFAD e PFIT > PFIC > AB > PR. Os tratamentos com cultivo de pupunha nos estágios mais avançados apresentaram melhores condições para que houvesse maior produção de CO₂ microbiano.

A atividade microbiana pode ter sido estimulada pela decomposição da matéria orgânica existente como cobertura. As folhas da pupunha apresentam elevada quantidade de nitrogênio, podendo assim ser o estimulante para a atividade microbiana do solo. Outro fator importante pode ser o sistema radicular e os exsudados produzidos pelas raízes, uma vez que o tratamento PFIC, que possui grama como cobertura do solo, também apresentou grande atividade microbiana.

Na área de bosque (AB), que também apresentava grama como cobertura do solo, houve menor atividade microbiana comparada aos tratamentos com pupunha (PFIC, PFIT e PFAD), porém a respiração do solo foi maior que no tratamento com

palmeira-real (PR), mesmo sendo o tratamento que, quimicamente, mais se diferenciou dos demais.

A cobertura vegetal associada aos fatores climáticos da época de amostragem, além de fornecerem matéria orgânica, podem ter propiciado a formação de micro-*habitats* que proporcionaram maiores condições de desenvolvimento microbiano.

Embora o tratamento PFIC, não tivesse depósito de biomassa vegetal, a atividade microbiana foi maior que os tratamentos PR (palmeira-real) e AB (área de bosque). Diferentemente dos demais, o tratamento PFIC apresenta gramíneas como cobertura e, como o sistema de plantio utilizado foi o de abertura de covas, a alteração foi a mínima nesta área.

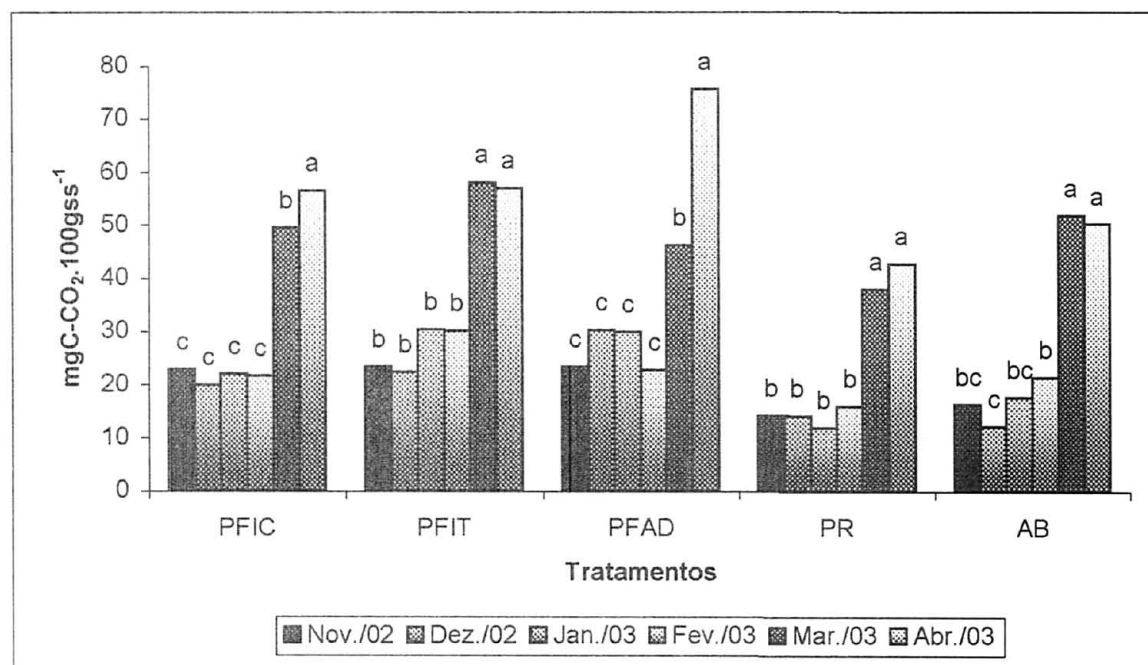
Segundo COLOZZI FILHO, BALOTA e ANDRADE (1999), as raízes são fontes de carbono que estimulam a atividade microbiana. ANDRADE (1999) afirma que o ambiente ao redor das raízes representa uma região de intensa atividade microbiana, onde as interações microrganismo-microrganismo e microrganismo-planta são evidentes e extremamente complexas, sendo os exsudados das plantas formadores do efeito rizosfera, que é manifestado pela intensa atividade microbiana associada neste ambiente. Também para SANTOS e CAMARGO (1999) a produção de exsudados pela rizosfera estimula uma intensa atividade microbiana.

O tratamento PR (palmeira-real) foi o que apresentou menor atividade microbiana. Neste tratamento verificou-se a ausência de outra espécie vegetal, como também de cobertura vegetal. A respiração microbiana não foi ainda menor neste tratamento talvez pela influência do sistema radicular porque, segundo CATTELAN, GALDÊNCIO e SILVA (1997) e ANDRADE (1999), os exsudados das raízes são mais prontamente disponíveis do que os restos vegetais, para a estimulação dos microrganismos.

Apesar da maior diversidade de espécies e da umidade elevada do solo, o tratamento AB (área de bosque) apresentou menor atividade comparada aos tratamentos com cultivo de pupunha. A explicação pode estar na presença de Al no solo, que além de ser tóxico, diminui o pH do solo limitando a atividade de alguns microrganismos (WARDLE, 1992).

Analisando os resultados da respiração em cada tratamento, verificou-se a influência das épocas de amostragem na taxa de respiração microbiana do solo (GRÁFICO 5).

GRÁFICO 5 – ANÁLISE DA FLUTUAÇÃO DA RESPIRAÇÃO MICROBIANA DO SOLO, EM CINCO TRATAMENTOS, DURANTE AS ÉPOCAS: NOV./02 (22/11/02), DEZ./02 (19/12/02), JAN./03 (30/01/03), FEV./03 (26/02/03), MAR./03 (27/03/03) E ABR./03 (28/04/03)



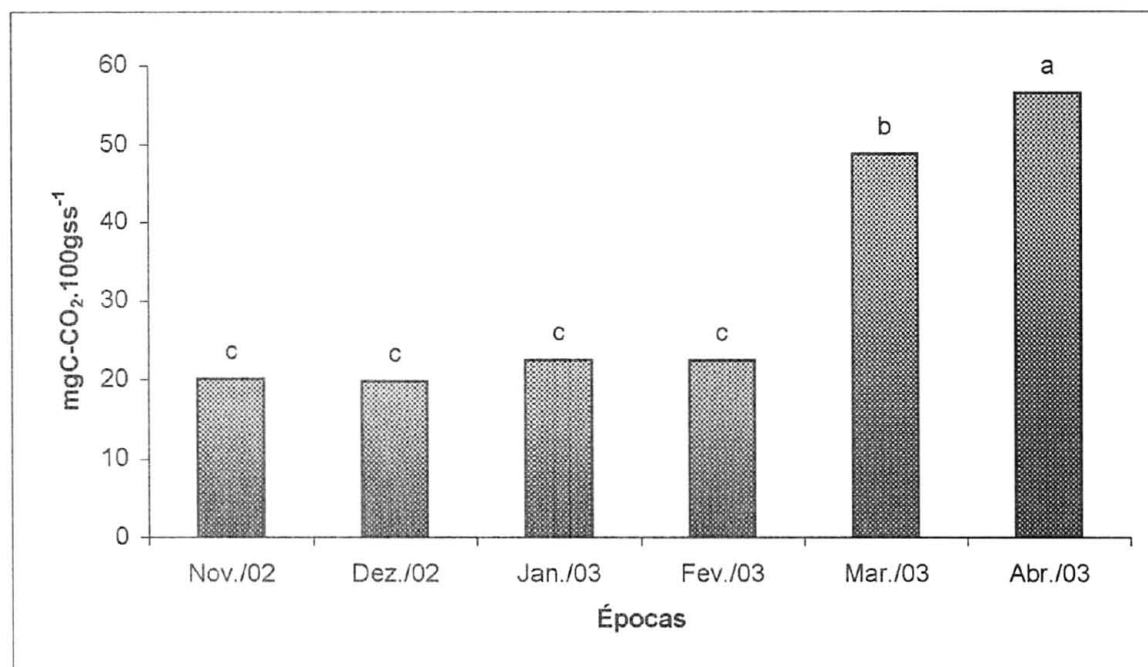
Nota: Colunas com letras iguais, dentro do mesmo tratamento, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Nos meses de Mar./03 e Abr./03 aconteceram picos de respiração microbiana em todos os tratamentos (GRÁFICO 5).

No tratamento PFIC, com exceção dos meses de Mar./03 e Abr./03, todas as épocas influenciaram por igual a atividade microbiana do solo. Houve também igualdade, no tratamento PFIT, entre as épocas de Nov./02, Dez./02, Jan./03 e Fev./03. Mar./03 foi o mês de maior atividade microbiana no tratamento PFAD. No tratamento PR houve as menores taxas de respiração microbiana em todos os meses de amostragem. No tratamento AB, como nos demais tratamentos, os meses de Mar./03 e Abr./03 foram de grande influência na atividade dos microrganismos do solo (GRÁFICO 5).

O GRÁFICO 6 mostra os resultados da análise estatística entre as épocas de amostragem.

GRÁFICO 6 – RESPIRAÇÃO MICROBIANA DO SOLO EM SEIS ÉPOCAS DE AMOSTRAGEM, NA CAMADA DE 0 A 5 cm. MÉDIAS ENTRE OS TRATAMENTOS: PFIC (PUPUNHA FASE INICIAL), PFIT (PUPUNHA FASE INTERMEDIÁRIA), PFAD (PUPUNHA FASE ADULTA), PR (PALMEIRA-REAL) E AB (ÁREA DE BOSQUE)



Nota: Colunas com letras iguais não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Os resultados mostraram não haver diferença significativa entre as épocas de Nov./02 e Fev./03, influenciando de igual maneira na respiração microbiana do solo, nos cinco tratamentos estudados (GRÁFICO 6).

Para entender a elevação da atividade microbiana do solo nos meses de Mar./03 e Abr./03, utilizou-se dados climatológicos levantados durante o período de Set./02 a Abr./03. Para maior compreensão dos resultados, procurou-se conhecer as condições climáticas existentes antes do início das coletas. Foram escolhidos os dados de precipitação e temperatura porque, segundo MASON (1980), SANTOS e CAMARGO (1999), a precipitação e a temperatura do ar são as variáveis climáticas que exercem maior influência sobre a atividade microbiana.

Os dados climatológicos mostraram que a partir do mês de Fev./03, houve diminuição da temperatura do ar (GRÁFICO 1) e da precipitação (GRÁFICO 2), assim, neste trabalho, a maior atividade microbiana foi determinada no mês de menor precipitação e menor temperatura (Abr./03).

4.3.1 Influência dos parâmetros físico-químicos na respiração microbiana do solo

Os resultados das análises da umidade gravimétrica (TABELA 2) e da fertilidade do solo (TABELA 3), obtidos em todos os tratamentos, entre os meses de Nov./02 e Abr./03, foram correlacionados com os resultados da respiração microbiana também obtidos em todos os tratamentos (GRÁFICO 3). Os resultados dos coeficientes de correlação foram analisados pela significância a 1 e a 5% de probabilidade (TABELA 4).

TABELA 4 – COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO ENTRE RESPIRAÇÃO, BIOMASSA, UNIDADE GRAVIMÉTRICA E PARÂMETROS DE FERTILIDADE DO SOLO, NOS TRATAMENTOS: PFIC, PFIT, PFAD, PR E AB

PARÂMETROS	PFIC		PFIT		PFAD		PR		AB	
	Respiração	Biomassa	Respiração	Biomassa	Respiração	Biomassa	Respiração	Biomassa	Respiração	Biomassa
pH (CaCl ₂)	0,636 **	-0,063 NS	0,846 **	0,742 **	0,472 **	0,657 **	-0,506 NS	-0,119 NS	-0,410 NS	-0,688 NS
H+Al	-0,363 NS	0,124 NS	-0,616 NS	-0,045 NS	-0,374 NS	-0,659 NS	0,703 **	0,143 NS	0,078 NS	-0,499 NS
Ca ⁺² +Mg ⁺²	-0,709 NS	0,065 NS	-0,680 NS	0,066 NS	-0,904 NS	-0,250 NS	-0,487 NS	0,278 NS	-0,307 NS	0,303 NS
Ca ⁺²	-0,718 NS	0,079 NS	-0,712 NS	-0,095 NS	-0,856 NS	-0,334 NS	-0,512 NS	0,483 **	-0,444 NS	0,154 NS
K ⁺²	-0,077 NS	-0,012 NS	-0,071 NS	-0,088 NS	0,137 NS	-0,641 NS	0,126 NS	0,073 NS	0,326 NS	-0,170 NS
T	-0,766 NS	0,093 NS	-0,749 NS	0,054 NS	-0,732 NS	-0,489 NS	-0,254 NS	0,406 *	-0,032 NS	-0,542 NS
P	0,113 NS	0,063 NS	-0,185 NS	0,152 NS	-0,085 NS	-0,590 NS	0,053 NS	0,245 NS	-0,232 NS	-0,236 NS
C	-0,734 NS	-0,104 NS	-0,290 NS	0,004 NS	-0,106 NS	-0,863 NS	-0,574 NS	-0,292 NS	-0,192 NS	0,306 NS
pH (SMP)	0,402 *	-0,096 NS	0,636 **	0,024 NS	0,363 *	0,669 **	-0,675 NS	-0,177 NS	-0,078 NS	0,499 **
V %	-0,333 NS	0,007 NS	-0,441 NS	0,148 NS	-0,554 NS	0,528 **	-0,652 NS	0,150 NS	-0,217 NS	0,392 *
Al	---	---	---	---	---	---	---	---	-0,389 NS	-0,416 NS
U %	0,430 *	0,156 NS	0,007 NS	0,616 **	0,472 **	-0,296 NS	-0,158 NS	0,001 NS	0,209 NS	0,593 **
Biomassa	-0,346 NS	---	0,486 **	----	-0,165 NS	----	0,304 NS	----	0,737 **	----

Nota: PFIC (pupunha fase inicial), PFIT (pupunha fase intermediária), PFAD (pupunha fase adulta), PR (palmeira-real) e AB (área de bosque).

Obs.: (NS) não significativo a 5 % de probabilidade, (*) significativo a 5% de probabilidade e (**) significativo a 1% de probabilidade.

Em todos os tratamentos, houve pouca correlação entre os resultados da respiração microbiana e os demais parâmetros analisados (umidade gravimétrica e fertilidade do solo).

A correlação entre a respiração microbiana e a umidade gravimétrica (U%), foi significativa no tratamento PFIC ($r=0,430^*$) e no tratamento PFAD ($r=0,472^{**}$). Os demais tratamentos não apresentaram correlação significativa com o fator umidade do solo (TABELA 4).

O pH teve correlação significativa no tratamento PFIC ($r=0,636^{**}$), no tratamento PFIT ($r=0,846^{**}$) e no tratamento PFAD ($r=0,472^{**}$), no tratamento. O tratamento PR apresentou correlação significativa ($r=0,703^{**}$) com H+Al. O pH (SMP) também apresentou correlação significativa nos tratamentos PFIC ($r=0,402^*$), PFIT ($r=0,636^*$) e PFAD ($r=0,363^*$) (TABELA 4).

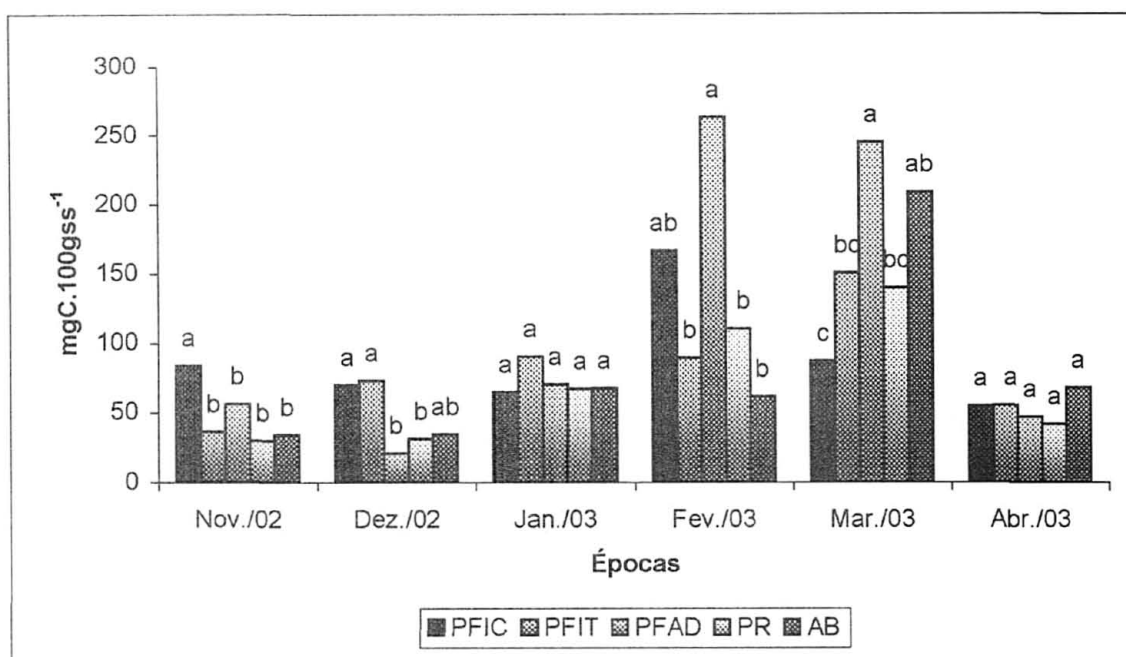
Há muitos trabalhos de pesquisa sobre pupunha, porém a grande maioria deles é direcionada para a parte de produção de palmito. Assim, faltaram parâmetros para interpretar os resultados da atividade dos microrganismos do solo e as possíveis correlações com outros fatores (físicos, químicos e climáticos). O mesmo aconteceu com palmeira-real e área de bosque.

4.4 BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO

A biomassa microbiana no tratamento PFIC variou de 54,72 a 166,02 mgC.100gss⁻¹. No tratamento PFIT a variação foi de 35,81 a 150,02 mgC.100gss⁻¹; no tratamento PFAD variou de 20,53 a 262,44 mgC.100gss⁻¹; no tratamento PR variou de 29,47 a 139,69 mgC.100gss⁻¹ e no tratamento AB variou de 33,66 a 208,33 mgC.100gss⁻¹.)

O GRÁFICO 7 mostra, comparativamente, os resultados obtidos na avaliação da biomassa microbiana do solo.

GRÁFICO 7 – BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO NA CAMADA DE 0 A 5 cm, NO PERÍODO DE NOV./02 A ABR./03, NOS TRATAMENTOS: PFIC (PUPUNHA FASE INICIAL), PFIT (PUPUNHA FASE INTERMEDIÁRIA), PFAD (PUPUNHA FASE ADULTA), PR (PALMEIRA-REAL) E AB (ÁREA DE BOSQUE)



Nota: Colunas com letras iguais, na mesma época, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Em Nov./02 a biomassa microbiana do solo foi maior no tratamento PFIC (83,60 mgC.100gss⁻¹). Os tratamentos PFIT, PFAD, PR e AB não apresentaram diferenças significativas entre si (GRÁFICO 7).

Em Dez./03, o tratamento PFAD foi o que apresentou a menor biomassa microbiana (20,53 mgC.100gss⁻¹) (GRÁFICO 7).

Em Jan./03 o tratamento PFIT teve a maior biomassa microbiana (90,38 mgC.100gss⁻¹), porém, todos os tratamentos foram estatisticamente iguais entre si, no teste de Tukey a 5% de probabilidade (GRÁFICO 7).

A biomassa microbiana teve um aumento no mês de Fev./02. Nesta época de amostragem, os tratamentos PFIC e PFAD apresentaram biomassa de 166,02 e 262,44 mgC.100gss⁻¹, respectivamente (GRÁFICO 7).

Em Mar./03 o tratamento PFAD continuou apresentando alta biomassa microbiana (244,31 mgC.100gss⁻¹). O tratamento AB apresentou a segunda maior

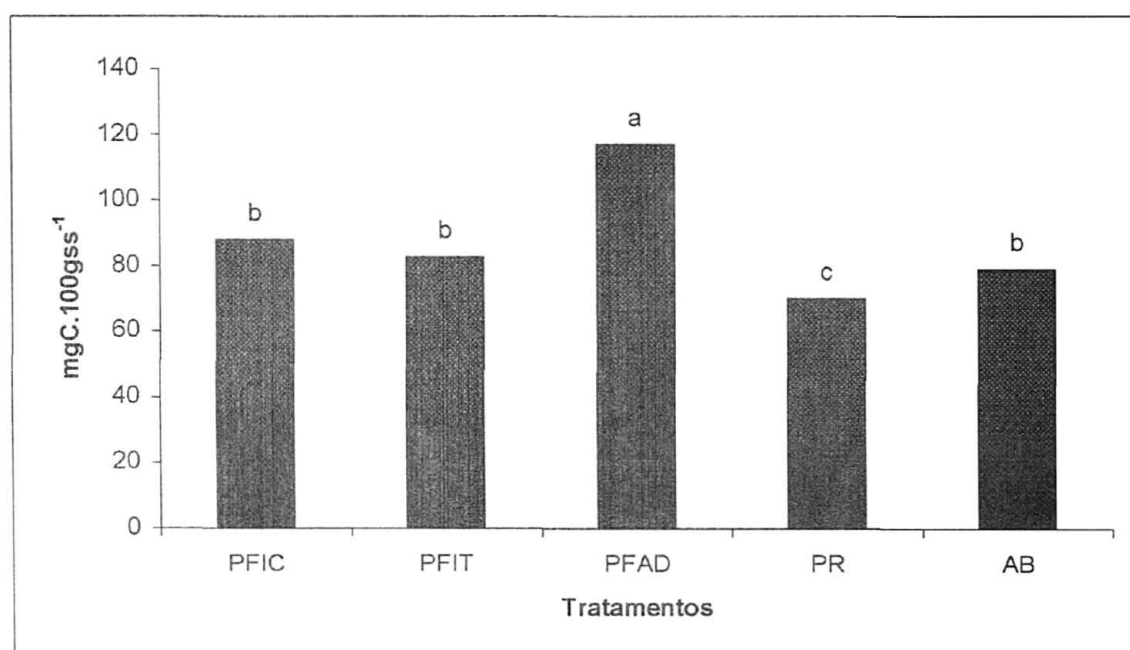
biomassa ($208,33 \text{ mgC.100gss}^{-1}$). Nesta época, a menor biomassa foi determinada no tratamento PFIC ($87,13 \text{ mgC.100gss}^{-1}$) (GRÁFICO 7).

Em Abr./03 todos os tratamentos apresentaram queda na produção de biomassa microbiana. O tratamento AB foi o que mais se diferenciou dos demais, apresentando a maior biomassa entre os tratamentos ($67,67 \text{ mgC.100gss}^{-1}$). Os tratamentos PFIC e PFIT foram estatisticamente iguais entre si, assim como os tratamentos PFAD e PR (GRÁFICO 7).

A biomassa microbiana variou de 20,53 a $262,44 \text{ mgC.100gss}^{-1}$ entre as épocas e os tratamentos. Essa variação aproxima-se daquela obtida por GRISÍ e GRAY (1986), que encontraram valores de biomassa por indução do substrato entre 3,46 e $370,72 \text{ mgC.100gss}^{-1}$, na camada de 0 a 5 cm de profundidade, em nove solos diferentes da Inglaterra, provenientes de áreas de floresta, pastagens e solos agriculturáveis.

O GRÁFICO 8 mostra a biomassa durante o período de Nov./02 a Abr./03.

GRÁFICO 8 – BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO NOS TRATAMENTOS: PFIC (PUPUNHA FASE INICIAL), PFIT (PUPUNHA FASE INTERMEDIÁRIA), PFAD (PUPUNHA FASE ADULTA), PR (PALMEIRA-REAL) E AB (ÁREA DE BOSQUE), NA CAMADA DE 0 A 5 cm. MÉDIAS ENTRE AS ÉPOCAS DE NOV./02 E ABR./03



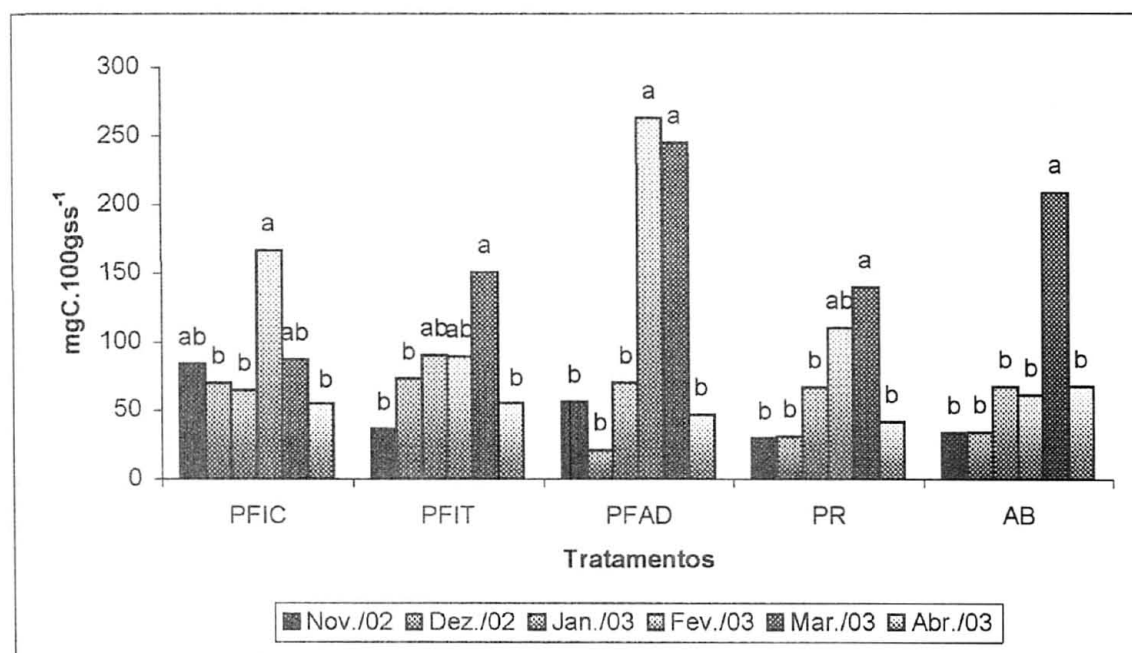
Nota: Colunas com letras iguais não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

O GRÁFICO 8 mostra que o tratamento PFAD é responsável pela maior produção de biomassa do período analisado. Os demais tratamentos com pupunha (PFIC e PFIT) e área de bosque (AB) foram estatisticamente iguais entre si na produção de biomassa microbiana. O tratamento com cultivo de palmeira-real (PR) apresentou a menor biomassa. Assim como para respiração, a maior biomassa se deu em tratamentos com pupunha (PFIC, PFIT e PFAD) e na área de bosque (AB).

O tratamento com palmeira-real (PR) apresentou, durante as épocas de amostragem, ausência de cobertura vegetal. Sem cobertura por folhas (tratamentos PFIT e PFAD) e grama (tratamentos PFIC e AB) ou qualquer tipo de adição de matéria orgânica, não havendo estímulo para os microrganismos, resultando em baixa atividade metabólica (respiração microbiana) e menor produção de biomassa.

Os resultados obtidos mostraram diferenças significativas entre as épocas pesquisadas (GRÁFICO 9).

GRÁFICO 9 – ANÁLISE DA FLUTUAÇÃO DA BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO, EM CINCO TRATAMENTOS, DURANTE AS ÉPOCAS: NOV./02 (22/11/02), DEZ./02 (19/12/02), JAN./03 (30/01/03), FEV./03 (26/02/03), MAR./03 (27/03/03) E ABR./03 (28/04/03)



Nota: Colunas com letras iguais, no mesmo tratamento, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

No tratamento PFIC obteve-se a maior biomassa em Fev./03 e a menor em Abr./03. Diferentemente do tratamento PFIT, onde a maior biomassa aconteceu em Mar./03 e a menor em Nov./02.

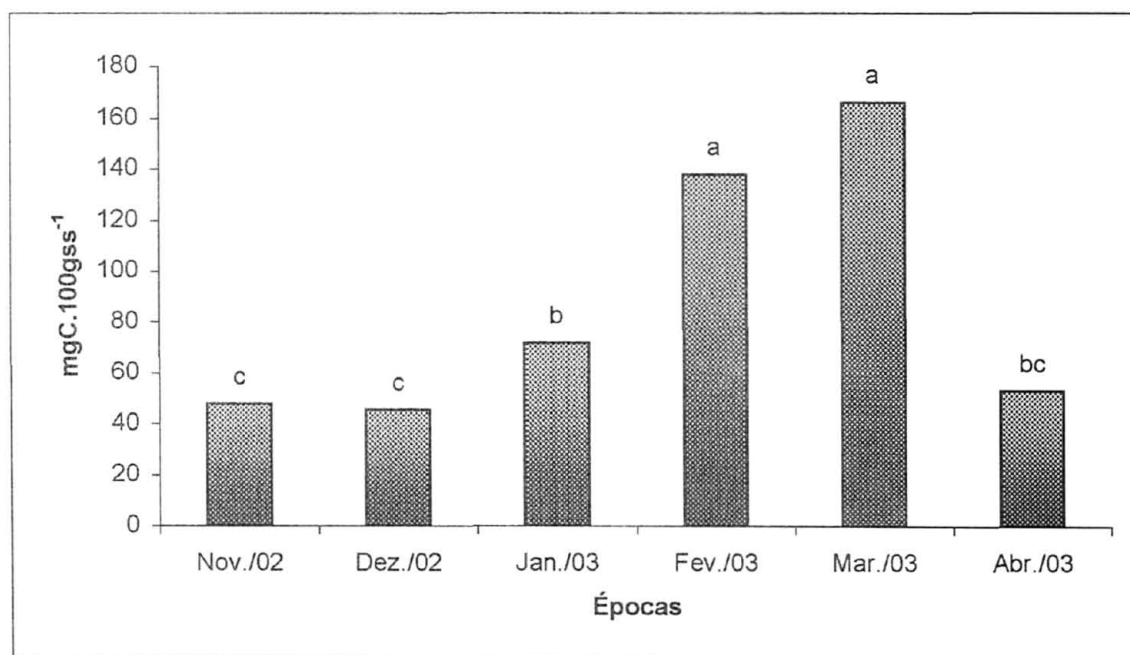
O tratamento PFAD teve maior biomassa nos meses de Fev./03 e Mar./03. As demais épocas de amostragem, não apresentaram diferenças estatísticas quando aplicado o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

No tratamento com palmeira-real (PR) a maior biomassa foi obtida no mês de Mar./03 e as menores em Nov./02 e Dez./02.

O tratamento AB, assim como os tratamentos PFIT e PR teve maior biomassa em Mar./03. As menores biomassas aconteceram nos meses de Nov./02 e Dez./02.

O GRÁFICO 10 mostra a flutuação da biomassa microbiana ao longo das épocas de amostragem.

GRÁFICO 10 – BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO EM SEIS ÉPOCAS DE AMOSTRAGEM, NA CAMADA DE 0 A 5 cm. MÉDIAS ENTRE OS TRATAMENTOS: PFIC (PUPUNHA FASE INICIAL), PFIT (PUPUNHA FASE INTERMEDIÁRIA), PFAD (PUPUNHA FASE ADULTA), PR (PALMEIRA-REAL) E AB (ÁREA DE BOSQUE)



Nota: Colunas com letras iguais não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

A análise dos resultados da biomassa microbiana mostrou que as épocas de Nov./02 e Dez./03, assim com as épocas de Fev./03 e Mar./03, foram estatisticamente iguais na produção de biomassa microbiana do solo (GRÁFICO 10).

4.4.1 Influência dos parâmetros físico-químicos na biomassa microbiana do solo

Todos os resultados de biomassa, obtidos pelo método de respiração por indução do substrato (SIR), foram correlacionados com a umidade gravimétrica (TABELA 2) e com os parâmetros de fertilidade do solo (TABELA 3). Os resultados da correlação encontram-se na TABELA 4 (todas as tabelas foram citadas anteriormente).

A correlação entre biomassa e o pH do solo foi significativa no tratamento PFIT ($r=0,742^{**}$) e no tratamento PFAD ($r=0,657^{**}$). Nos demais tratamentos, não houve correlação significativa com o pH do solo (TABELA 4).

O tratamento PR foi o único a apresentar correlação significativa com Ca^{+2} ($r=0,483^{**}$) e com valor T ($r=0,406^{**}$) (TABELA 4).

Os tratamentos PFAD e AB apresentaram correlação significativa com o pH (SMP), $r=0,669^{**}$ e $r=0,499^{**}$, respectivamente. Esses tratamentos também apresentaram correlação com o V% ($r=0,528^{**}$ e $r=0,392^{*}$, respectivamente) (TABELA 4).

Houve correlação significativa entre biomassa e umidade gravimétrica do solo nos tratamentos PFIT ($r=0,616^{**}$) e AB ($r=0,593^{**}$) (TABELA 4).

O teor de C orgânico não apresentou correlação com a biomassa (TABELA 4), mas apresentou resultados médios de $32,5 \text{ g.dm}^{-3}$ (PFIC), $38,2 \text{ g.dm}^{-3}$ (PFIT), $31,2 \text{ g.dm}^{-3}$ (PFAD), $31,2 \text{ g.dm}^{-3}$ (PR) e $35,4 \text{ g.dm}^{-3}$ (AB) determinando, em todos os tratamentos, altos teores de matéria orgânica (TABELA 3).

4.5 ANÁLISE DA RESPIRAÇÃO E DA BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO

Com os resultados da respiração e da biomassa microbiana foi possível calcular a quantidade de carbono orgânico do solo pertencente à biomassa (carbono microbiano) e o quociente metabólico (TABELA 5).

TABELA 5 – RESPIRAÇÃO, BIOMASSA, CARBONO ORGÂNICO NA BIOMASSA, CARBONO MICROBIANO E QUOCIENTE METABÓLICO DETERMINADOS NOS TRATAMENTOS: PFIC (PUPUNHA FASE INICIAL), PFIT (PUPUNHA FASE INTERMEDIÁRIA), PFAD (PUPUNHA FASE ADULTA), PR (PALMEIRA-REAL) E AB (ÁREA DE BOSQUE) ENTRE OS MESES DE NOV./02 E ABR./03

ÉPOCA	RESPIRAÇÃO (mgC-CO ₂ .100gss ⁻¹)	BIOMASSA (mgC.100gss ⁻¹)	C ORGÂNICO NA BIOMASSA (%)	C MICROBIANO (t.ha ⁻¹)	QUOCIENTE METABÓLICO (qCO ₂)
PFIC					
Nov./02	22,85	83,60	2,29	1,83	0,27
Dez./02	19,93	69,54	1,94	1,80	0,29
Jan./03	22,03	64,48	2,00	1,62	0,34
Fev./03	21,63	166,02	5,24	1,59	0,13
Mar./03	49,44	87,13	3,10	1,41	0,57
Abr./03	56,48	54,72	1,79	1,53	1,03
Média	32,06	87,58	2,73	1,63	0,44
PFIT					
Nov./02	23,38	35,81	0,84	2,13	0,65
Dez./02	22,25	72,62	1,90	1,92	0,31
Jan./03	30,34	90,38	2,56	1,77	0,34
Fev./03	30,05	89,17	2,33	1,92	0,34
Mar./03	58,14	150,02	3,73	2,01	0,39
Abr./03	56,99	55,11	1,59	1,74	1,03
Média	36,86	82,19	2,16	1,91	0,51
PFAD					
Nov./02	23,33	56,00	1,61	1,74	0,42
Dez./02	30,17	20,53	0,65	1,59	1,47
Jan./03	29,81	70,34	2,14	1,65	0,42
Fev./03	22,70	262,44	9,34	1,41	0,09
Mar./03	46,19	244,31	8,69	1,41	0,19
Abr./03	75,64	46,72	1,47	1,59	1,62
Média	37,97	116,72	3,98	1,56	0,70
PR					
Nov./02	13,98	29,47	0,93	1,59	0,47
Dez./02	13,97	30,71	0,99	1,56	0,45
Jan./03	11,93	66,93	2,11	1,59	0,18
Fev./03	15,88	110,10	3,12	1,77	0,14
Mar./03	37,87	139,69	5,31	1,32	0,27
Abr./03	42,60	41,80	1,34	1,56	1,02
Média	22,71	69,78	2,30	1,56	0,42
AB					
Nov./02	16,32	33,66	0,99	1,71	0,48
Dez./02	12,09	34,15	0,97	1,77	0,35
Jan./03	17,64	67,33	1,84	1,83	0,26
Fev./03	21,34	60,99	1,67	1,83	0,35
Mar./03	51,83	208,33	5,80	1,80	0,25
Abr./03	50,20	67,67	1,98	1,71	0,74
Média	28,24	78,69	2,21	1,77	0,41

4.5.1 Carbono orgânico na biomassa

A fração do C orgânico do solo pertencente à biomassa microbiana variou de 1,79 a 5,24% no tratamento PFIC, de 0,84 a 3,73% no tratamento PFIT, de 0,65 a 9,34% no tratamento PFAD, de 0,93 a 5,31% no tratamento PR e de 0,97 a 5,80% no tratamento AB (TABELA 5).

SIQUEIRA e FRANCO (1988) definem que a quantidade de carbono orgânico pertencente à biomassa do solo está na faixa de 1 a 4%, assim, concordando com alguns dos resultados obtidos neste trabalho (TABELA 5).

4.5.2 Quociente metabólico

O quociente metabólico variou de 0,13 a 1,03 no tratamento PFIC, de 0,31 a 1,03 no tratamento PFIT, de 0,09 a 1,62 no tratamento PFAD, de 0,14 a 1,02 no tratamento PR e de 0,25 a 0,74 no tratamento AB (TABELA 5).

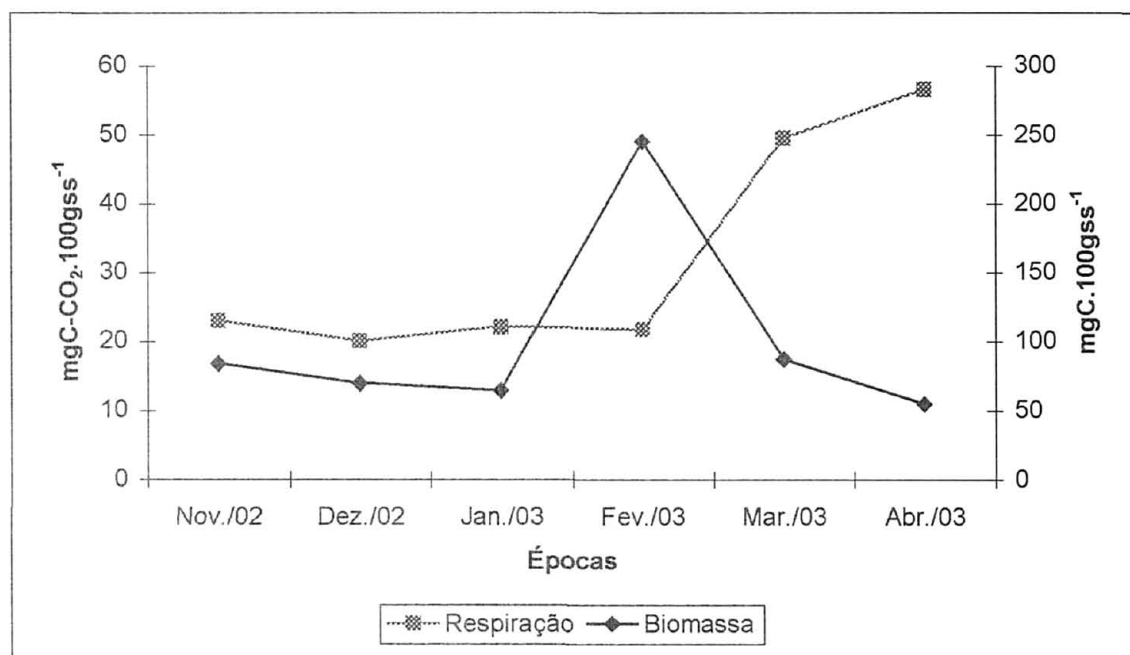
Considerando a média entre todas as épocas, o tratamento PFAD apresentou o maior quociente metabólico (0,70) (TABELA 5), sendo este o tratamento que apresentou maior taxa de respiração e a maior biomassa microbiana.

4.5.3 Flutuação da respiração e da biomassa microbiana do solo

Segundo WARDLE (1992) as avaliações da biomassa microbiana são mais úteis quando combinadas com outros componentes do solo, como a atividade microbiana. Assim, procurou-se verificar o comportamento da flutuação da respiração e da biomassa microbiana em cada tratamento, ao longo das épocas de amostragem.

O GRÁFICO 11 mostra os resultados no tratamento PFIC.

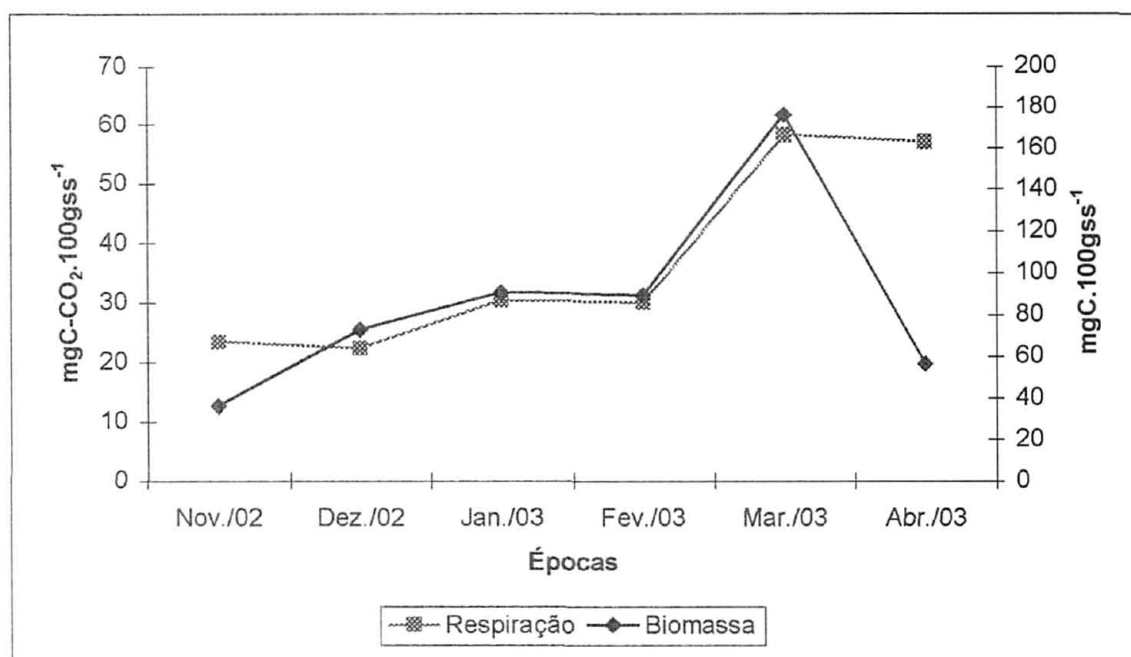
GRÁFICO 11 – FLUTUAÇÃO DA RESPIRAÇÃO E DA BIOMASSA MICROBIANA, NA CAMADA DE 0 A 5 cm, ENTRE OS MESES DE NOV./02 E ABR./03, NO TRATAMENTO PFIC (PUPUNHA FASE INICIAL)



O GRÁFICO 11 mostra que os picos de respiração e biomassa microbiana, no tratamento PFIC, aconteceram em diferentes épocas e que a biomassa foi maior que a respiração em todas as épocas com exceção do mês de Abr./03, onde a respiração foi de 56,48 mgC-CO₂.100gss⁻¹ e a biomassa, 54,72 mgC.100gss⁻¹. O tratamento PFIC não apresentou correlação significativa entre respiração e biomassa microbiana ($r=-0,346$ NS) (TABELA 4).

A biomassa microbiana também foi menor que a respiração microbiana em Abr./03, no tratamento PFIT (GRÁFICO 12).

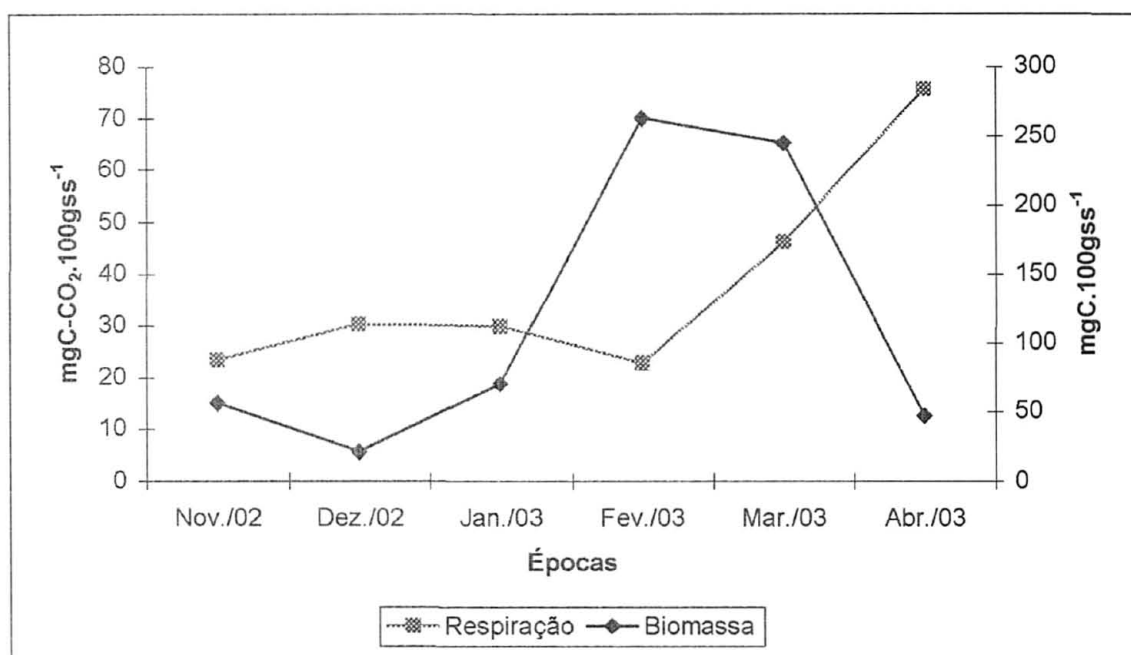
GRÁFICO 12 – FLUTUAÇÃO DA RESPIRAÇÃO E DA BIOMASSA MICROBIANA, NA CAMADA DE 0 A 5 cm, ENTRE OS MESES DE NOV./02 E ABR./03, NO TRATAMENTO PFIT (PUPUNHA FASE INTERMEDIÁRIA)



No tratamento PFIT, houve aumento da respiração e da biomassa microbiana no mês de Mar./03, apresentando correlação significativa entre respiração e biomassa microbiana ($r=0,486^{**}$).

O GRÁFICO 13 mostra o comportamento microbiano no PFAD.

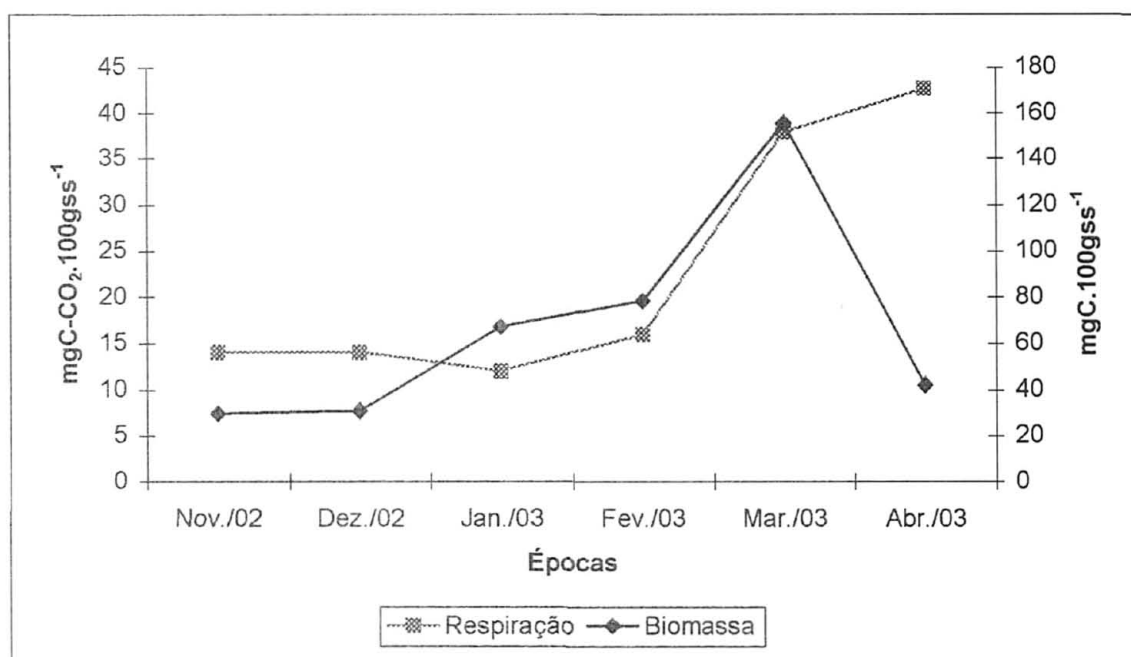
GRÁFICO 13 – FLUTUAÇÃO DA RESPIRAÇÃO E DA BIOMASSA MICROBIANA, NA CAMADA DE 0 A 5 cm, ENTRE OS MESES DE NOV./02 E ABR./03, NO TRATAMENTO PFAD (PUPUNHA FASE ADULTA)



O tratamento PFAD a biomassa foi menor que a respiração nos meses de Dez./02 e Abr./03 (GRÁFICO 13). A correlação não foi significativa ($r=-0,165\text{NS}$) (TABELA 4).

O GRÁFICO 14 mostra a flutuação da respiração e da biomassa microbiana no tratamento PR (palmeira-real).

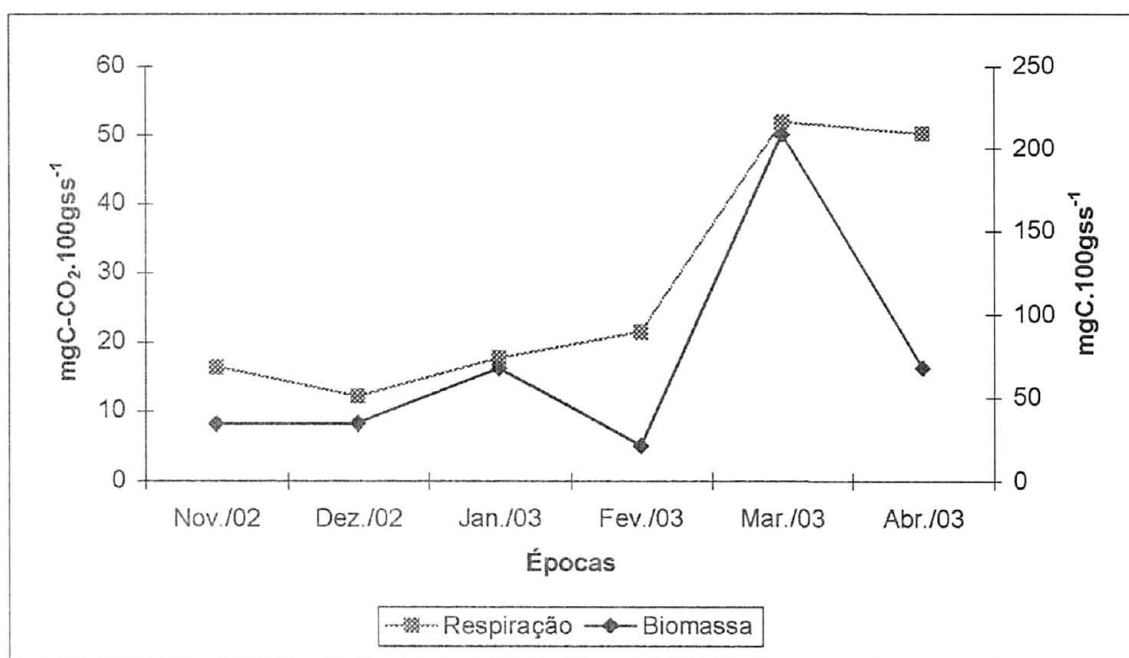
GRÁFICO 14 – FLUTUAÇÃO DA RESPIRAÇÃO E DA BIOMASSA MICROBIANA, NA CAMADA DE 0 A 5 cm, ENTRE OS MESES DE NOV./02 E ABR./03, NO TRATAMENTO PR (PALMEIRA-REAL)



Assim como nos tratamentos PFIC, PFIT e PFAD, o tratamento PR apresentou produção de biomassa inferior a taxa de respiração no mês de Abr./03 (GRÁFICO 14). Este tratamento não apresentou correlação significativa entre respiração e biomassa microbiana ($r=0,304NS$) (TABELA 4).

O tratamento AB foi o único a apresentar, em todas as épocas, biomassa microbiana maior que a taxa de respiração (GRÁFICO 15). Apresentando a maior correlação significativa ($r=0,737^{**}$) (TABELA 4).

GRÁFICO 15 – FLUTUAÇÃO DA RESPIRAÇÃO E DA BIOMASSA MICROBIANA, NA CAMADA DE 0 A 5 cm, ENTRE OS MESES DE NOV./02 E ABR./03, NO TRATAMENTO AB (ÁREA DE BOSQUE)



5 CONCLUSÃO

Os tratamentos com pupunha (PFIC, PFIT e PFAD), apresentaram as maiores taxas de respiração e a maior produção de biomassa microbiana, possivelmente pela quantidade e pela qualidade da biomassa vegetal existente como cobertura do solo. Isso pode explicar, também, a menor atividade microbiana no tratamento com palmeira-real (AB), por ter apresentado ausência de qualquer tipo de cobertura do solo.

Mesmo sendo o tratamento com maior diferenciação química, devido à falta de adubação e calagem, a área de bosque (AB) apresentou em seu solo uma quantidade de microrganismos maior e com maior atividade comparado ao tratamento com palmeira-real (PR), concluindo que o tipo de cobertura vegetal foi o fator que mais influenciou a respiração e a biomassa microbiana.

Na avaliação das épocas de amostragem obteve-se maior atividade microbiana e maior produção de biomassa em meses de Fev./03 e Mar./03 (biomassa) e Mar./03 e Abr./03 (respiração). Essas épocas foram de temperaturas elevadas e de baixa precipitação.

Houve correlação significativa entre a respiração microbiana e: pH (CaCl_2) (PFIC, PFIT e PFAD) e U% (PFIC e PFAD).

Com a biomassa, houve correlação significativa com: pH (CaCl_2) (PFIT e PFAD), Ca^{+2} (PR), T (PR), V% (PFAD e AB) e U% (PFIT e AB).

REFERÊNCIAS

- ALEXANDER, M. **Introduction to soil microbiology**. 2 ed. New York: J. Wiley, 1977. 472 p.
- ALEXANDER, M. **Introducción a la microbiología del suelo**. México, Libros Y Editoriales, 1980. 491 p.
- ALMEYDA, N.; MARTIN, F. W. **Cultivation of neglected tropical fruits with promise: the pejibaye**. Mayaguez: Institute of Agriculture, Science and Administration. 1980.
- ALVES, M. R. P.; DEMATTÊ, M. E. S. P. **Palmeiras**: características botânicas e evolução. Campinas: Fundação Cargill, 1987.
- AMATO, M.; LADD, J. N. Studies of nitrogen immobilisation and mineralisation in calcareous soils. V. Formation and distribution of isotope-labelled biomass during decomposition of ^{14}C and ^{15}N -labelled plant material. **Soil Biol. Biochem.**, v. 12, p. 405-411, 1980.
- ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. A physiologically active method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. **Soil Biol. Biochem.**, v. 10, p. 215-221, 1978.
- ANDERSON, J. M.; INESON, P.; HUIISH, S. A. Nitrogen and cation mobilization by soil fauna feeding on leaf and soil organic matter from deciduous woodlands. **Soil Biol. Biochem.**, v. 15, p. 463-467, 1983.
- ANDERSON, J. P. E.; ARMSTRONG, R. A.; SMITH, S. N. Methods to evaluate pesticide damage to the biomass of soil microflora. **Soil Biol. Biochem.**, v. 13, p. 149-153, 1981.
- ANDRADE, G. Interacciones microbianas em la rizosfera. In: SIQUEIRA, J. O. et al. **Interrelação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Viçosa: SBCS, Lavras: UFLA/DCS, 1999. p. 551-575.
- ANDRADE, D. S.; MIYAZAWA, M.; HAMAKAWA, P. J. In: HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R. S. ed. **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. p. 227-236. (EMBRAPA-CNPAF. Documentos, 46).

BÅÅTH, E.; ARNEBRANT, K.; NORDGREN, A. Microbial biomass and ATP in smelter-polluted forest humus. **Bull Environ. Contam. Toxicol.**, v. 47, p. 278-282, 1991.

BÅÅTH, E.; LUNDGREN, B.; SÖDERSTRÖM, B. Effects of artificial acid rain on microbial activity and biomass. **Bull Environ. Contam. Toxicol.**, v. 23, p. 737-740, 1979.

BEARE, M. H.; NEELY, C. L.; COLEMAN, D. C.; HARGROVE, W. L. A substrate-induced respiration (SIR) method for measurement of bacterial and fungal biomass on plant residues. **Soil Biol. Biochem.**, v. 22, p. 585-594, 1990.

BENGTSSON, G.; HEDLUND, K.; RUNDGREN, S. Patchiness and compensatory growth in a fungus-Collembola system. **Oecologia**, v. 93, p. 295-302, 1993.

BONDE, T. A.; SCHNURER, J.; ROSSWALL, T. Microbial biomass as a fraction of potentially mineralisable nitrogen in soils from a long-term experiment. **Soil Biol. Biochem.**, v. 20, p. 447-452, 1988.

BOSATTA, E.; ÁGREN, G. I. Theoretical analysis of microbial biomass dynamics in soils. **Soil Biol. Biochem.**, v. 26, p. 143-148, 1994.

BOTTNER, P.; MNEIMNE, Z.; BILLES, G. Response de la biomasse microbienne a l'adjonction au sol de materiel vegetal marque au ^{14}C : role des raciness vivantes. **Soil Biol. Biochem.**, v. 16, p. 305-314, 1984.

BOUWMAN, L. A.; BLOEM, J.; van den BOOGERT, P. H. J. F.; HOENDERBOOM, G. H. J.; RUITER, P. C. Short term and long term effects of bacterivorous nematodes and nematophagous fungi on carbon and nitrogen mineralisation in microcosms. **Biol. Fertil. Soils**, v. 17, p. 249-256, 1994.

BOVI, M. L. A.; GODOY-JÚNIOR, G.; SAES, L. A. Pesquisas com gêneros *Euterpe* e *Bactris* no Instituto Agrônomo de Campinas. In: **1º. Encontro Nacional de Pesquisadores em palmito**. Curitiba: EMBRAPA, p. 1-18, 1987.

BRANDÃO, E. M. Os componentes da comunidade microbiana do solo. In: **Microbiologia do Solo**. CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P. eds. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1-15, 1992.

BROOKES, P. C.; McGRATH, S. P. Effects of metal toxicity on the size of the soil microbial biomass. **J. Soil Sci.**, v. 35, p. 341-346, 1984.

CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M. e NEVES, M. C. P. **Microbiologia do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 1992. 360 p.

CARTER, M. R. Microbial biomass as an index for tillage-induced changes in soil biological properties. **Soil & Tillage Res.**, Amsterdam, v. 7p. 29-40, 1986.

CARTER, M. R.; MELE, P. M. Changes in microbial biomass and structural stability at the surface of a duplex soil under direct drilling and stubble retention in north-eastern Victoria. **Aust. J. Soil Res.**, v. 30, p. 493-503, 1992.

CATTELAN, A. J.; VIDOR, C. Flutuações na biomassa, atividade e população microbiana do solo, em função de variações ambientais. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 14, p. 133-142, 1990.

CATTELAN, A. J.; GAUDÊNCIO, C. A.; SILVA, T. A. Sistemas de rotação de culturas em plantio direto e os microrganismos do solo, na cultura da soja, em Londrina. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 21, p. 293-301, 1997.

CHESBORO, W.; ARBIDGE, M.; EIFFERT, F. When nutrient limitation places bacteria in the domains of slow growth: Metabolic, morphologic and cell cycle behaviour. **FEMS Microbiol. Ecol.**, v. 74, p. 103-120, 1990.

CLARHOLM, M. Heterotrophic, free living protozoa: neglected micro-organisms with an important task in regulating bacterial populations. In: KLUG, M. J.; REDDY, C. A., ed. **Current Perspectives in Microbial Ecology**. Washington, D. C.: American Society of Microbiology, 1984. p. 321-326.

CLEMENT, C. R. Domestication of the peijibaye palm (*Bactris gasipaes*): past and present. In: BALICK, M. J. (Ed.) **The Palm – tree of life: biology, utilization and conservation**. Advances in Economic Botany, v. 6, p. 155-174, 1988.

COCHRAN, V. L.; HORTON, K. A.; COLE, C. V. An estimation of microbial death rate and limitations of C or N during wheat straw decomposition. **Soil Biol. Biochem.**, v. 20, p. 293-298, 1988.

COLLOZI FILHO, A.; BALOTA, E. L.; ANDRADE, D. de S. Microrganismos e processos biológicos no sistema plantio direto. In: SIQUEIRA, J. O. et al. **Interrelação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Viçosa: SBCS, Lavras: UFLA/DCS, 1999. p. 487-508.

DALAL, R. C.; HENDERSON, P. A.; GLASBY, J. M. Organic matter and microbial biomass in vertisol after 20 yr of zero tillage. **Soil Biol. Biochem.**, v. 23, p. 435-441, 1991.

DICK, R. P.; MYROLD, D. D.; KERKLE, E. A. Microbial biomass and soil enzyme activities in compacted and rehabilitated skid trail soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v. 52, p. 512-516, 1988.

DIONÍSIO, J. A. **Atividades microbianas em diferentes sistemas de cultivo de *Eucalyptus grandis* (W. Hill ex Maiden)**. Curitiba, 1996. 90 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

DRURY, C. F.; STONE, J. A.; FINDLAY, W. I. Microbial biomass and soil structure associated with corn, grasses and legumes. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 55, p. 805-811, 1991.

EDWARDS, C. A.; FLETCHER, K. E. Interactions between earthworms and micro-organisms in organic matter breakdown. **Agric. Ecosyst. Environ.**, v. 24, p. 235-247, 1988.

EMBRAPA-SNLCS. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1979. 313 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro-RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.

EMBRAPA. **Indicadores biológicos e bioquímicos da qualidade do solo**: manual técnico. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. 198 p.

FEIGL, B. J.; SPARLING, G. P.; ROSS, D. J.; CERRI, C. C. Soil microbial biomass in Amazonian soils: evaluation of methods and estimates of pool sizes. **Soil Biol. Biochem.**, v. 27, p. 1467-1472, 1995.

FENN, M. E.; PATH, M. A.; DUNN, P. H.; BARRO, S. C. Microbial N and biomass, respiration, and N mineralisation in soils beneath two chaparral species along a fire-induced age gradient. **Soil Biol. Biochem.**, v. 25, p. 457-466, 1993.

FERREIRA, A. S.; CAMARGO, F. A. O.; VIDOR, C. Utilização de microondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 23, p. 991-996, 1999.

FIEDLER, H. J.; GRUNDA, B. Nachweis der am Kohlenstoff-Kreislauf beteiligten Mikroorganismen unter ihrer Leistungen. In: DUNGER, W.; FIEDLER, H. J. (Eds.). **Methoden der Bodenbiologie**. Jena: Gustav Fischer Verlag, 1997. p. 168-192.

FLANAGAN, P. W.; van CLEVE, K. Nutrient cycling in relation to decomposition and organic matter quality in taiga ecosystems. **Can. J. For. Res.**, v. 13, p. 795-817, 1983.

GAMA-RODRIGUES, E. F. da. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A. e CAMARGO, F. A. O (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo**: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Gênese, 1999.

GAMA-RODRIGUES, E. F. da; GAMA-RODRIGUES, A. C. da; BARROS, N. F. de. Biomassa microbiana de carbono e de nitrogênio de solos sob diferentes coberturas florestais. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 21-365, 1997.

GOTTSCHAL, J. C. Phenotypic response to environmental changes. **FEMS Microbiol. Ecol.**, v. 74, p. 93-102, 1990.

GRISI, B. M. Metodologia para a determinação da biomassa microbiana de solo. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 8, p. 167-172, 1984.

GRISI, B. M.; GRAY, T. R. G. Comparação dos métodos de fumigação, taxa de respiração em resposta à adição de glicose, e conteúdo de ATP para estimar a biomassa microbiana dos solos. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 10, p. 109-115, 1986.

HALVORSON, J. J.; SMITH, J. L.; FRANZ, E. H. Lupine influences on soil carbon, nitrogen and microbial activity in developing ecosystems at Mount St. Helen. **Oecologia**, v. 87, p. 162-170, 1991.

HANLON, R. D. Influences of grazing by Collembola on the activity of senescent fungal colonies on media of different nutrient concentrations. **Oikos**, v. 36, p. 362-367, 1981.

HEISLER, C; KAISER, E. A. Influence of agricultural traffic and crop management on Collembola and microbial biomass in arable soil. **Biol. Fert. Soils**, Berlim, v. 19, p. 159-165, 1995.

HENDRIX, P. F.; PARMELEE, R. W.; CROSSLEY, D. A. COLEMAN, D. C.; ODUM, E. P.; GROFFMAN, P. M. Detritus food-webs in conventional and no-tillage agroecosystems. **Bioscience**, v. 36, p. 374-380, 1986.

IAPAR. **Cartas climáticas básicas do Estado do Paraná**. Londrina, 1978.

INGHAM, E. R.; TROFYMOW, J. A.; AMES, R. N.; HUNT, H.; MORLEY, C. R.; MOORE, J. C.; COLEMAN, D. C. Trophic interactions and nitrogen cycling in a semi-arid grassland soil. 1. Seasonal Dynamics of the natural populations, their interactions and effects on nitrogen cycling. **J. Appl. Ecol.**, v. 23, p. 597-614, 1986.

INGHAM, R. E.; TROFYMOW, J. A.; INGHAM, E. R.; COLEMAN, D. C. Interactions of bacteria, fungi, and their nematode grazers on nutrient cycling and plant growth. **Ecol. Monogr.**, vol. 55, p. 119-140, 1985.

JENKINSON, D. S. Studies on the decomposition of plant material in soil. III. Partial sterilization of soil and the soil biomass. **J. Soil Sci.**, v. 17, p. 280-302, 1966.

JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. V. Method for measuring soil biomass. **Soil Biol. Biochem.**, v. 8, p. 209-213, 1976.

JENKINSON, D. S.; OADES, J. M. A method for measuring adenosine triphosphate in soil. **Soil Biol. Biochem.**, v. 11, p. 193-199, 1979.

JENKINSON, D. S.; LADD, J. N. Microbial biomass in soils: measurement and turnover. In: PAUL, E. A.; LADD, J. N. ed. **Soil Biochemistry**, 5. New York: Marcel Decker, 1981. p. 415-471.

JENSEN, L. S.; MUELLER, T.; TATE, K. R.; ROSS, D. J.; MAGID, J.; NIELSEN, N. E. Soil surface CO₂ flux as an index of soil respiration in situ: a comparison of two chamber methods. **Soil Biol. Biochem.**, v. 28, p. 1297-1306, 1996.

JOERGENSEN, P. G.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. Survival of the soil microbial biomass at elevated temperatures. **Soil Biol. Biochem.**, v. 22, p. 1129-1136, 1990.

JOHNSON, C. K.; VIGIL, M. F.; DOXTADER, K. G.; BEARD, W. E. Measuring bacterial and fungal substrate-induced respiration in dry soils. **Soil Biol. Biochem.**, v. 28, p. 427-432, 1996.

JUNQUEIRA, L. C.; CARNEIRO, J. **Biologia Celular e Molecular**. 5 ed. São Paulo: Guanabara Koogan, 1991.

KAISER, E. A.; HEISLER, C. WALENZIK, G.; HEINEMEYER, O. The effect of mechanical soil compaction on microbial biomass development, Collembolan fauna, denitrification and mineralization in an agricultural location. **Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft**, Oldenburg, v. 66, n. 1, p. 531-534, 1991.

KAISER, E. A.; WALENZIK, G. HEINEMEYER, O. Auswirkungen von Bodenverdichtung auf Bodenmikroorganismen. In: BRENNDÖRFER, M. (Ed.). **Bodenverdichtung**. Darmstadt: KTBL, 1995. p. 157-175.

KAJAK, A.; CHMIELEWSKI, K.; KACZMAREK, M.; REMBIALKOWSKA, E. Experimental studies on the effect of epigeic predators on matter decomposition in managed peat grasslands. **Pol. Ecol. Stud.**, v. 17, p. 289-310, 1993.

KNAPP, E. B.; ELLIOTT, L. F.; CAMPBELL, G. S. Microbial respiration and growth during the decomposition of wheat straw. **Soil Biol. Biochem.**, v. 15, p. 319-323, 1983.

LADD, J. N.; OADES, J. M.; AMATO, M. Microbial biomass formed from ^{14}C , ^{15}N -labelled plant material decomposing in soils in the field. **Soil Biol. Biochem.**, v. 13, p. 114-126, 1981.

LADD, J. N.; AMATO, M.; OADES, J. M. Decomposition of plant material in Australian soils. III. Residual organic and microbial biomass C and N from isotope-labelled legume material and soil organic matter, decomposing under field conditions. **Aust. J. Soil Res.**, v. 23, p. 603-611, 1985.

LIN, Q.; BROOKES, P. C. Comparasion of methods to measure microbial biomass in unamended, ryegrass-amended and fumigated soils. **Soil Biol. Biochem.**, v. 28, p. 933-939, 1996.

LIN, Q.; BROOKES, P. C. An evaluation of the substrate-induced respiration method. **Soil Biol. Biochem.**, v. 31, p. 1969-1983, 1999.

LIRA, A. C. S. de; POGGIANI, F.; GONÇALVES, J. L. de M. Respiração microbiana sob eucalipto e cerradão. **IPEF**, v. 56, p. 15-28, 1999.

LORENZI, H.; SOUZA, H. M. de; CERQUEIRA, L. S. C. de; MEDEIROS-COSTA, J. T.; von BEHR, N. **Palmeiras no Brasil**. São Paulo: Editora Plantarum, 1996. 303 p.

LUND, J. W. G. Las algas del suelo. In: **Biología del Suelo**. BURGÉS, A. Barcelona: Ed. Omega, 1971. p. 163-179.

MARTENS, R. Estimation of microbial biomass in soils by the respiration method: importance of soil pH and flushing methods for measurement of respired CO_2 . **Soil Biol. Biochem.**, v. 19, p. 77-81, 1987.

MARUMOTO, T.; ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. Mineralization of nutrients from soil microbial biomass. **Soil Biol. Biochem.**, Oxford, v. 14, p. 469-475, 1982.

MASON, C. F. **Decomposição**. São Paulo: Ed. da Universidade de São Paulo, 1980.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Editora UFLA, 2002. 626 p.

NORDGREN, A. A method for determining microbially available N and P in an organic soil. **Biol. Fertil. Soils**, v. 13, p. 1995-1999, 1992.

OCIO, J. A.; MARTINEZ, J.; BROOKES, P. C. Contribution to straw-derived N to total microbial biomass N following incorporation of cereal straw in soil. **Soil Biol. Biochem.**, v. 23, p. 655-659, 1991.

OKANO, S.; SATO, K.; INOUE, K. Negative relationship between microbial biomass and root amount in topsoil of a grassland. **Soil Sci. Pl. Nutr.**, v. 37, p. 47-53, 1991.

PELCZAR, M. J.; REID, R.; CHAN, E. C. S. **Microbiologia**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1981. 566 p. vol. 2.

PELCZAR JÚNIOR, M. J.; CHAN, E. C. S.; KRIEG, N. R. **Microbiologia: conceitos e aplicações**. 2 ed. São Paulo: Makron Books, 1996. 524 p. v. 1.

PENÃ, P. M. L. **Indicadores microbiológicos de solo na avaliação da recuperação de área degradada de floresta ombrófila densa das terras baixas no litoral paranaense – Brasil**. Curitiba. 2002. 71 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

PFENNING, L.; EDUARDO, B. de P.; CERRI, C. C. Os métodos de fumigação-incubação e fumigação-extração na estimativa da biomassa microbiana de solos da Amazônia. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 16, p. 31-37, 1992.

POWLSON, D. S.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in soil organic matter due to straw incorporation. **Soil Biol. Biochem.**, v. 22, p. 1121-1127, 1987.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. São Paulo: Nobel, 1979. 549 p.

RAIJ, B. van; GUAGGIO, J. A. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade**. Boletim Técnico do Instituto Agrônomo, Campinas: IAC, n. 81, 1979.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1996. 728 p.

ROSACKER, L.; KIEF, T. L. Biomass and adenylate energy charge of a grassland soil during drying. **Soil Biol. Biochem.**, v. 22, p. 1121-1127, 1990.

SAFFIGNA, P. G.; POWLSON, D. S.; BROOKES, P. C.; THOMAS, G. A. Influence of sorghum residues and tillage on soil organic matter in an Australian Vertisol. **Soil Biol. Biochem.**, v. 21, p. 759-765, 1989.

SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. H.; MAIA, L. C. Limitações no cálculo da biomassa microbiana determinada pelo método da fumigação em solos com adição recente de substrato orgânico (^{14}C). **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 10, p. 31-35, 1986.

SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999.

SANTRUCKOVA, H. Microbial biomass, activity and soil respiration in relation to secondary succession. **Pedobiol.**, v. 36, p. 341-350, 1992.

SCHEU, S. Change in microbial nutrient status during secondary succession and its modification by earthworms. **Oecologia**, v. 84, p. 351-358, 1990.

SCHEU, S. There is an earthworm-mobilisable pool of nitrogen in soil. **Pedobiol.**, v. 38, p. 243-249, 1994.

SCHNÜRER, J.; ROSSWALL, T. Mineralisation of nitrogen from ^{15}N labelled fungi, soil microbial biomass and roots, and its uptake by barley plants. **Pl. Soil**, v. 102, p. 71-78, 1987.

SEASTED, T. R. The role of microarthropods in decomposition and mineralisation processes. **Ann. Rev. Entomol.** v. 29, p. 25-46, 1984.

SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; GRISI, B.; HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R. **Microrganismos e processos biológicos do solo: perspectiva ambiental**. Brasília: EMBRAPA, 1994. 142 p.

SIQUEIRA, J. S.; FRANCO, A. A. **Biotecnologia do solo: fundamentos e perspectivas**. Brasília: MEC, ABEAS, ESAL, FAEPE. 1988.

SMITH, J. L.; PAUL, E. A. The significance of soil biomass estimates. In: BOOLAG, J. M.; STOTZKY, G. (Ed.). **Soil Biochemistry**, 6. New York: Marcel Dekker, 1990. p. 357-396.

SMOLANDER, A.; MALKONEN, E. Microbial biomass C and biomass N in limed soil of Norway spruce stands. **Soil Biol. Biochem.**, v. 26, p. 503-509, 1994.

SORENSEN, L. H. Size and persistence of the microbial biomass formed during the humification of glucose, hemicellulose, cellulose and straw in soils containing different amounts of clay. **Pl. Soil**, v. 75, p. 121-130, 1983.

SPARLING, G. P.; ORD, B. G.; VAUGHAN, D. Microbial biomass and activity in soils amended with glucose. **Soil Biol. Biochem.**, v. 13, p. 99-104, 1981.

STOUT, J. D.; HEAL, O. W. Protozoos. In: **Biología del Suelo**. BURGÉS, A. Barcelona: Ed. Omega, 1971. p. 185-227.

STOTZKY, G.; NORMAN, A. G. Factors limiting microbial activities in soil. In: LIN, Q.; BROOKES, P. C. An evaluation of the substrate-induced respiration method. **Soil Biol. Biochem.**, v. 31, 1999. p. 1969-1983.

SWIFT, M. J.; HEAL, O. W.; ANDERSON, J. M. **Decomposition in terrestrial ecosystems**. Berkeley: University of California Press, 1979.

TATE, R. L. **Soil microbiology**. New York: J. Wiley, 1995. 398 p.

TAYLOR, B. R.; PARKINSON, D.; PARSONS, W. F. J. Nitrogen and lignin as predictors of decay rates: a microcosm test. **Ecology**, v. 70, 1989. p. 97-104.

TOMÉ JÚNIOR, B. **Manual para interpretação de análises de solo**. Guaíba: Agropecuária, 1997. 247 p.

TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. **Microbiologia**. 6. ed. Porto Alegre: Artes Médicas Sul, 2000.

TRABULSI, L. R. **Microbiologia**. 2. ed. São Paulo: Atheneu, 1998.

TURCO, R. F.; BLUME, E. Indicators of soil quality. In: PENÃ, M. L. P. (Ed.). **Indicadores microbiológicos de solo na avaliação da recuperação de área degradada de floresta ombrófila densa das terras baixas no litoral paranaense – Brasil**. Curitiba, 2002. 71 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. p. 18.

UFPR. **Manual de diagnóstico da fertilidade e manejo dos solos agrícolas**. Universidade Federal do Paraná (Departamento de Solos e Engenharia Agrícola). Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2003. 143 p.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biol. Biochem.**, v. 19, p. 703-707, 1987.

van de WERF, H.; VERSTRAETE, W. Estimation of active soil microbial biomass by mathematical analysis of respiration curves: calibration of test procedures. **Soil Biol. Biochem.**, v. 19, p. 261-265, 1987.

van VEEN, J. A.; MERCKX, R.; van de GEIJN, S. C. Plant and soil related controls of the flow of carbon from the soil microbial biomass. **Pl. Soil**, v. 115, p. 179-188, 1989.

VARGAS, L. K.; SCHOLLES, D. Biomassa microbiana e produção de C-CO₂ e N mineral de um podzólico vermelho-escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 24, p. 35-42, 2000.

VIEIRA, S. **Estatística experimental**. 2 ed. São Paulo: Atlas, 1996.

VISSER, S. Role of soil invertebrates in determining the composition of soil microbial communities. In: FITTER, A. H.; ATKINSON, D.; READ, D. J.; USHER, M. B.; ed. **Ecological Interactions in Soil**. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1985. p. 297-317.

von LÜTZOW, M.; ZELLES, L.; SCHEUNERT, I.; ORROW, J. G.; C. Seasonal effects of liming irrigation, and acid precipitation on microbial biomass N in a spruce (*Picea abies* L.) forest soil. **Biol. Fert. Soils**, v. 13, p. 130-134, 1992.

WARDLE, D. A. Metodologia para quantificação da biomassa do solo. In: **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Brasília: EMBRAPA, 1992. p. 419-436.

WARDLE, D. A.; PARKINSON, D. Interactions between microclimatic variables and the soil microbial biomass. **Biol. Fert. Soils**, v. 9, p. 273-280, 1990.

WARDLE, D. A.; PARKINSON, D. Relative importance of the effects of 2,4-D, glyphosate and environmental variables on the soil microbial biomass. **Pl. Soil**, v. 134, p. 209-219, 1991.

WARDLE, D. A.; YEATES, G. W. The dual importance of competition and predation as regulating forces in terrestrial ecosystems: evidence from decomposer food-webs. **Oecologia**, v. 93, p. 303-306, 1993.

WARDLE, D. A.; HUNGRIA, M. A biomassa microbiana do solo e sua importância nos ecossistemas terrestres. In: **Microorganismos de importância agrícola**. Brasília: EMBRAPA, 1994. p.195-216.

WASILEWSKA, L.; JAKUBECZYK, H.; PAPLINSKA, E. Production of *Aphelenchus avenae* Bastian (Nematoda) and reduction of saprophytic fungi by them. **Pol. Ecol. Stud.**, v. 1, p. 61-73, 1975.

WEST, A. W.; ROSS, D. J.; COWLING, J. C. Changes in microbial C, N, P and ATP contents, numbers and respiration on storage of soil. **Soil Biol. Biochem.**, v. 18, p. 141-148, 1986.

WOLTERS, V. The influence of omnivorous elaterid larvae on the microbial carbon cycle in different forest soils. **Oecologia**, v. 80, p. 405-413, 1989.

ZAK, D. R.; GRIGAL, D. F.; GLEESON, S.; TILMAN, D. Carbon and nitrogen cycling during old field succession: constraints on plant and microbial biomass. **Biogeochem.**, v. 11, p. 111-129, 1990.